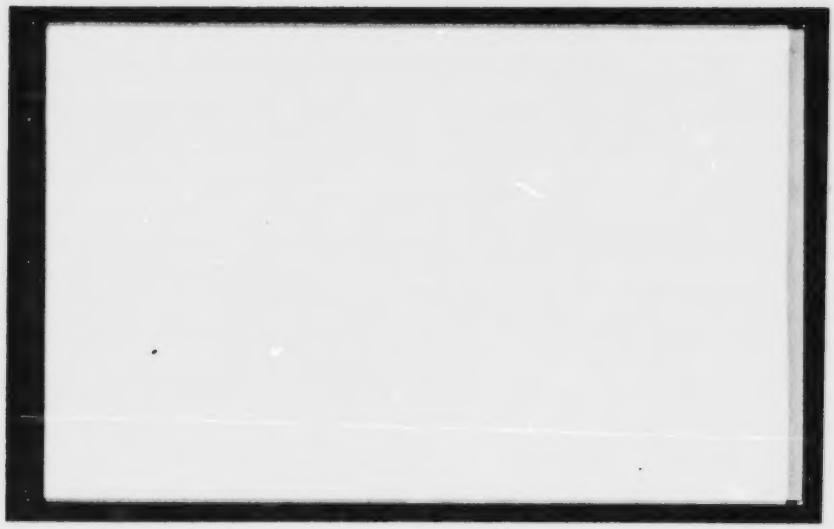
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL



CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

MÉMOIRE D'ÉTUDIANT

CASE POSTALE 6128, SUCCURSALE A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

LA MODÉLISATION DES FLUX DE MARCHANDISES AU CANADA

par

Yvon Bigras

Thèse de doctorat, département de sciences économiques, dirigée par Sang Nguyen et Marcel Dagenais.

Cette étude a été publiée grâce à une subvention du Fonds F.C.A.R. pour l'aide et le soutien à la recherche.

Université de Montréal
Centre de recherche sur les transports - Publication #483
Mai 1985

Dépôt légal - 3e trimestre 1986

REMERCIEMENTS

Je veux d'abord rendre hommage à la mémoire du professeur Marc Los, qui m'a intéressé à ce sujet de recherche et avec qui j'en ai défini les grandes orientations. Son enthousiasme, son ardeur au travail, son ouverture d'esprit, son courage et sa bonté, ont été et demeureront pour moi une source intarissable d'inspiration.

Mes co-directeurs de thèse, les professeurs Sang Nguyen et Marcel Dagenais ont toute ma reconnaissance pour le soutien et les conseils qu'ils m'ont donnés. Je remercie également le professeur Marc Gaudry pour ses judicieux commentaires.

Je tiens à souligner la précieuse collaboration de Paul Hamelin, qui a écrit les programmes informatiques indispensables à la réalisation de cette thèse. Les discussions que nous avons eues sur plusieurs aspects de cette recherche m'ont été très profitables. Dominique Paskievici m'a aussi fourni un utile soutien informatique et j'ai grandement apprécié les commentaires et suggestions de Guy Picard. Je les remercie sincèrement, ainsi que tous ceux qui, au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal, m'ont apporté leur appui.

Je remercie chaleureusement madame Louise Harbec qui s'est chargée de la dactylographie de cette thèse.

Finalement, je remercie ma compagne, Sylvie Paquette, pour son indispensable soutien sans lequel ce travail n'aurait jamais été mené à terme.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES iii

LISTE DES TABLEAUX vii

LISTE DES FIGURES x

SOMMAIRE xi

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION 1

1.1 Gestion et planification du transport des marchandises 1

1.2 Objectifs de la thèse et approche choisie 4

1.3 Aperçu 6

CHAPITRE 2 - LA MODELISATION DES FLUX INTERREGIONAUX 8

2.1 Les modèles de programmation linéaire 10

2.2 Les modèles économétriques de demande de transport . 13

2.3 Les modèles d'équilibre spatial 16

2.4 Les modèles d'interaction spatiale 20

2.4.1 L'hypothèse gravitaire 20

2.4.2 Entropie et théorie de l'information 22

2.4.3 Formulation entropique du modèle gravitaire . . 28

2.4.4 Justification théorique et critique 32

2.4.5 Résultats empiriques 35

2.5 Les modèles input-output interrégionaux 38

2.5.1 Fondements 38

2.5.2 Estimation des coefficients commerciaux 41

2.5.3 Applications 47

2.6 Interaction spatiale et analyse input-output 51

2.6.1 Formulation entropique du modèle de Léontief-Strout 51

2.6.2 Application 54

2.6.3 Le modèle TOMM 56

CHAPITRE 3 - LES DONNEES INPUT-OUTPUT REGIONALES CANADIENNES 60

3.1 Le cadre comptable rectangulaire 60

3.2 Les données utilisées 64

3.3 Le commerce interprovincial au Canada en 1974 66

CHAPITRE 4 - LE MODELE ECONOMIQUE MULTIREGIONAL TOMM-2 . . . 77

4.1 Notation et définition 77

4.2 Corrections des données 79

4.3 Les contraintes input-output régionales 82

4.3.1 Hypothèse sur les biens non-commercialisables . 82

4.3.2 Calcul des coefficients techniques et d'importation 85

4.3.3 Les contraintes comptables input-output 88

4.4 Formulation du modèle 94

4.5 Justification du modèle et conditions d'optimalité . . 97

CHAPITRE 5 - RESOLUTION DU PROGRAMME MATHEMATIQUE 100

5.1 Caractéristiques du programme mathématique 100

5.2 Une approche duale 105

5.3 Une généralisation de la méthode de balancement . . . 108

CHAPITRE 6 - L'ESTIMATION DES FLUX DE MARCHANDISES A PRIORI . 113

6.1 Le problème 113

6.2 Résultats avec les moindres carrés ordinaires 125

6.3 Résultats avec le modèle "tobit" 139

CHAPITRE 7 - RESULTATS DE TOMM-2 ET COMPARAISONS 153

7.1 Les mesures d'ajustement 153

7.2 Comparaison entre les flux a priori et les résultats de TOMM-2 155

7.3 Comparaison entre modèles 177

7.3.1 Les modèles comparés 177

7.3.2 Sans contrainte d'offre 180

7.3.3 Avec contraintes d'offre 197

CHAPITRES 8 - APPLICATIONS 204

8.1 Champs d'application du modèle 204

8.2 Les multiplicateurs intersectoriels du Québec 205

8.2.1 La procédure utilisée 205

8.2.2 Les multiplicateurs d'output 211

8.2.3 Les multiplicateurs de revenus 227

8.3 L'importance des coûts de transport dans la répartition de l'activité économique 235

CHAPITRE 9 - LES FLUX DE MARCHANDISES ENTRE 67 ZONES DU CANADA 243

9.1 Le problème 243

9.2 Les parts zonales de production et d'attraction 246

9.3 Les sources de données 248

9.4 Résultats 250

CHAPITRE 10 - CONCLUSION 252

ANNEXE 1 - PREUVE DE LA REDONDANCE DE LA PARTIE NORMATIVE DANS LE MODELE TOMM 256

ANNEXE 2 - CLASSIFICATION DES INDUSTRIES 258

ANNEXE 3 - CATEGORIES DE LA DEMANDE FINALE 260

ANNEXE 4 - CLASSIFICATION DES BIENS ET SERVICES 261

ANNEXE 5 - CLASSIFICATION DES FACTEURS PRIMAIRES 265

ANNEXE 6 - VALEUR DES BIENS COMMERCIALISABLES 266

ANNEXE 7 - COEFFICIENTS D'IMPORTATIONS POUR LE QUEBEC 270

ANNEXE 8 - LES 67 ZONES DU CANADA 274

ANNEXE 9 - DONNEES AYANT SERVI A CALCULER LES PARTS ZONALES DE PRODUCTION ET D'ATTRACTION 281

ANNEXE 10 - MATRICE O-D ENTRE LES 67 ZONES DU CANADA: ANIMAUX VIVANTS 291

BIBLIOGRAPHIE 300

LISTE DES TABLEAUX

1.	Les huit régions de TOMM-2	66
2.	Commerce interrégional et international, biens commercialisables, 1974	68
3.	Destination des biens commercialisables, en valeur et en pourcentage de la production, 1974 . . .	69
4.	Provenance des biens commercialisables, en valeur et en pourcentage de la demande, 1974	71
5.	Balance commerciale nette entre les provinces, 1974 . . .	73
6.	Balance commerciale nette des provinces, 1974	75
7.	Flux de biens non-commercialisables ou services, 1974 . .	83
8.	Caractéristiques des flux domestiques par catégories de biens	115
9.	Centroides des huit régions	120
10.	Coefficients estimés par les modèles carrés ordinaires .	127
11.	Statistiques t - Moindres carrés ordinaires	131
12.	Statistiques globales - Moindres carrés ordinaires . . .	135
13.	Coefficients estimés par le modèle "tobit"	141
14.	Statistiques t - Modèle "tobit"	145
15.	Statistiques globales - Modèle "tobit"	149
16.	Ecart quadratique moyen selon deux hypothèses sur les flux observés nuls	158
17.	Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen	161

18. Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen 165

19. Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen 169

20. Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen 173

21. Comparaison entre le coût total de transport observé et prédit (modèle gravitaire) 179

22. Flux prédits par le modèle TOMM-2 (tobit). Tous les biens commercialisables 181

23. Flux prédits par le modèle gravitaire. Tous les biens commercialisables 182

24. Flux prédits par le modèle entropique. Tous les biens commercialisables 183

25. Flux prédits par le modèle linéaire. Tous les biens commercialisables 184

26. Statistiques globales (sans contrainte d'offre) 186

27. Ecart quadratique moyen standardisé (sans contrainte d'offre) 189

28. Indice de dissimilitude (sans contrainte d'offre) 193

29. Statistiques globales (avec contraintes d'offre) 199

30. Indice de dissimilitude (avec contraintes d'offre) 200

31. Multiplicateur d'output - Canada (impact initial au Québec). Produits manufacturés divers 209

32. Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec . . . 215

33. Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec (en pourcentage) 221

34. Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec . . 229

35. Variation de la production suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant d'une province 237

36. Augmentation de la production par bien suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant du Québec 239

LISTE DES FIGURES

1. Flux de la marchandise m dans le modèle de Léontief-Strout 52

2. Cadre comptable des tableaux d'entrées-sorties du Canada 61

3. Matrice des coefficients des contraintes input-output 103

4. Le coût total de transport comme fonction de γ 178

SOMMAIRE

Les techniques d'estimation de la demande de transport des marchandises entre les régions sont peu développées, si on les compare aux techniques utilisées pour prévoir la demande de transport des personnes. La difficulté d'obtenir les données pertinentes explique en partie ce retard, qu'on doit maintenant tenter de rattraper en utilisant les outils qui sont à notre disposition.

Ces outils sont d'abord méthodologiques, et à ce titre deux approches ont été privilégiées dans le cadre de cette thèse. Il y a d'abord l'approche des modèles d'interaction spatiale, qui permet de considérer les interactions entre les diverses origines et destinations dans l'estimation d'une matrice O-D. Dans leur formulation classique ces modèles traitent chaque bien séparément, sans tenir compte des liens intersectoriels qui les relient entre eux. La demande de transport des marchandises étant une demande dérivée de la demande pour ces biens, il est alors intéressant de joindre à cette première approche, la méthodologie input-output qui est fondée sur ces relations intersectorielles entre les différentes catégories de biens et services.

Ces outils, ce sont, en deuxième lieu, les données input-output provinciales compilées par la Division de l'Analyse structurelle de Statistique Canada pour 1974. Ces données uniques ont été obtenues à partir d'une désagrégation aussi poussée que possible des données originales

servant à calculer les tableaux input-output nationaux. Cette information est complétée par des matrices O-D entre les provinces pour les différentes catégories de biens. Des données, à un niveau d'agrégation spatiale plus détaillé, provenant en particulier du recensement de 1971, seront également utilisées pour présenter certains résultats au niveau de 67 zones du Canada.

Le modèle proposé, TOMM-2, a pour but d'estimer les matrices O-D entre huit régions du Canada et pour 64 catégories de biens. Le modèle est formulé sous la forme d'un programme mathématique non-linéaire où la fonction objectif est basée sur le concept d'information. Le problème consiste à trouver les flux interrégionaux qui s'éloignent le moins possible des flux a priori, obtenus d'un modèle de régression des flux observés sur diverses variables socio-économiques, tout en respectant la structure input-output de chaque région.

Les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2 sont comparés aux résultats obtenus avec trois autres modèles: gravitaire, entropique pur et linéaire. On présente également deux applications du modèle: sur les multiplicateurs d'output et de revenu, et sur l'importance des coûts de transport dans la répartition de l'activité économique au Canada. On présente finalement une procédure séquentielle qui permet de désagréger en matrices O-D comprenant 67 zones, les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2.

Les résultats du modèle TOMM-2 sont assez concluants au niveau de la performance comme modèle de prévisions. De plus, étant beaucoup plus souple que les autres modèles, il permet de considérer plusieurs types

d'informations (au niveau des contraintes et au niveau de la fonction objectif) et différentes spécifications de la demande ex ante où sont inclus les aspects normatifs. Le modèle n'en a pas moins certaines faiblesses et limitations. Il fonctionne à un niveau d'agrégation assez élevé, et ne traite ni du choix modal, ni de l'affectation. La procédure de désagrégation séquentielle ne permet pas de considérer les coûts de transport entre les 67 zones du Canada de façon appropriée. La fonction de tarif utilisée pour calculer les coûts de transport n'est par ailleurs pas idéale puisqu'elle ne tient pas compte de la répartition modale.

Le travail de modélisation de la demande de transport des marchandises n'est donc certes pas achevé, mais on espère qu'il sera possible de le pousser un peu plus loin à partir de cette recherche.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Gestion et planification du transport des marchandises

La modélisation de la demande de transport de marchandises est d'un intérêt primordial pour qui s'intéresse au problème de design et de gestion des réseaux de transport ou à l'analyse économique des mouvements de marchandises. Or, les techniques pour estimer cette demande sont peu développées si on les compare aux techniques utilisées pour prévoir la demande de transport des personnes en milieu urbain et entre les villes. Les problèmes n'en sont pas moins importants. Pour s'en convaincre, il suffit de penser à la question de l'ajustement de la capacité de transporter du réseau ferroviaire, à celle de la consommation d'énergie, et au lien entre le développement régional et les facilités de transport.

L'explication principale de ce phénomène tient sans doute au peu de données qui sont disponibles à un niveau de désagrégation suffisant, tant au niveau de l'espace qu'au niveau des biens. Au Canada, les données compilées par Statistique Canada sont au mieux disponibles sur une base provinciale. C'est le cas des matrices pour le rail (no de cat. 52-214), pour le transport maritime (no de cat. 54-210) et pour le transport routier pour le compte d'autrui (no de cat. 53-224). Le C.I.G.G.T. (Canadian Institute of Guided Ground Transport) de l'Université Queen's a

pour sa part compilé des données pour trois modes (rail, eau, camion pour compte d'autrui) et à un niveau de désagrégation spatiale relativement poussée, soit 67 régions (Graham, 1975). Malheureusement, ces flux ne représentent pas nécessairement de véritables flux origine-destination: il s'agit en fait de voyages unimodaux dont la véritable origine et la véritable destination restent inconnues puisque des transferts d'un mode à l'autre (ou même pour un mode, d'un transporteur à l'autre) sont possibles. A cette absence de données précises sur les flux qui utilisent plus d'un mode de transport ou plus d'un transporteur, il faut ajouter l'absence totale de données sur les flux par camions privés.

Malgré la faiblesse des données sur une base modale, les années soixante-dix ont vu quelques modèles se pencher sur le problème du choix modal. Entre autres, Oum (1979) a utilisé les données canadiennes du C.I.G.G.T. pour estimer un modèle de choix modal basé sur des fonctions de coût translog. Dans la séquence classique d'une procédure d'estimation de la demande de transport, ces modèles sont précédés par une étape de génération, où est fixé le niveau des activités dans toutes les zones, et par une étape de distribution ou d'estimation des matrices origine-destination. Les modèles de choix modal supposent généralement résolues les étapes précédentes de génération et de distribution. Les résultats ainsi obtenus sont ensuite utilisés dans la dernière étape de la séquence classique, l'affectation sur le réseau de transport. Il s'agit alors de représenter à un niveau très désagrégé, les flux sur chaque lien du réseau de transport.

Cet intérêt pour le choix modal se retrouve également dans les modèles de demande de transport des personnes en milieu urbain. Dans ce contexte, on a cependant insisté tout autant sur l'aspect affectation, en développant les modèles d'équilibre dans les réseaux. L'accent mis sur ces deux aspects se justifie du fait que les décisions d'un usager de l'infrastructure de transport urbain quant au choix du mode et de la route, peuvent se modifier à très court terme et sont relativement sensibles au temps de transport. On néglige alors les aspects génération et distribution qui sont supposés stables étant donné un stock de logements et des lieux de travail déjà établis. Par contre, dans le cas du transport des marchandises, même si la localisation des lieux de production et de consommation est fixée à court et moyen termes, l'état de l'économie peut fluctuer assez rapidement. Or, ces effets conjoncturels doivent être d'abord pris en compte au niveau de la génération et de la distribution. Les décisions quant au choix modal sont par ailleurs beaucoup moins flexibles que dans le contexte urbain, pour des raisons technologiques et institutionnelles. Il en est de même pour l'affectation qui, surtout dans le cas du réseau canadien passablement linéaire, se résume la plupart du temps à une affectation tout-ou-rien selon le plus court chemin. Le problème se pose alors plutôt en termes de goulots d'étranglement à certains points précis du réseau.

Un modèle de demande de transport des marchandises doit en conséquence partir de la constatation qu'elle découle de la demande pour ces marchandises. Cette dernière prend sa source dans les relations

technologiques et économiques qui relient la production des biens entre eux (demande intermédiaire), et dans les demandes pour la consommation, l'investissement ou l'exportation (demande finale). Contrairement aux modèles de choix modal dont il a été question précédemment, il semble donc préférable d'adopter une approche macroéconomique où il s'agit de modéliser simultanément tous les flux dans l'économie canadienne(i.e. entre toutes les régions du Canada et pour toutes les catégories de biens).

1.2 Objectifs de la thèse et approche choisie

Etant donné le faible développement des techniques de prévision de la demande de transport des marchandises et la nécessité de travailler les aspects qui ont été le plus négligés, soit la génération et la distribution, cette recherche ne traitera pas des aspects choix modal et affectation. Il eut probablement été possible de formuler un modèle général résolvant simultanément les quatre étapes de la procédure de modélisation, mais la tâche d'appliquer un tel modèle global à des données empiriques semble pour l'instant très ambitieuse. Il valait donc mieux appliquer un modèle, le rendre opérationnel et en tirer le maximum, au seul niveau de la génération et la distribution. Cette démarche s'impose d'autant plus qu'on a décidé de traiter l'ensemble des paires origine-destination et des biens simultanément, pour tenir compte des interactions entre les divers flux.

L'approche retenue repose essentiellement sur l'utilisation de deux méthodologies bien différentes. Il y a d'abord celle des modèles d'interaction spatiale qui permet justement de tenir compte des interactions

entre les diverses origines et destinations dans l'estimation d'une matrice origine-destination. Dans leur formulation classique avec des contraintes sur l'offre et la demande de chaque région, ces modèles traitent chaque bien séparément sans tenir compte des interactions entre eux. C'est là qu'intervient la méthodologie input-output, qui définira pour chaque région une structure industrielle reliant la production de chacun des biens ou services entre eux.

Le modèle proposé, TOMM-2[1], est formulé sous la forme d'un programme mathématique non-linéaire où la fonction objectif découle du concept d'information, dont la mesure caractérise la proximité entre deux distributions de probabilité. La solution du problème tend vers des flux interrégionaux a priori qui ont été obtenus préalablement des résultats d'une régression des flux observés sur diverses variables socio-économiques, ou d'un autre modèle normatif quelconque. La solution tiendra en plus compte des relations structurelles intersectorielles dans chaque région, puisqu'on y ajoute cette information sous forme de contraintes. La fonction objectif utilisée est donc beaucoup plus générale que celle utilisée dans les modèles d'interaction spatiale classique et elle permet d'étendre l'explication des flux interrégionaux à d'autres facteurs (institutionnels et historiques, entre autres) que le simple coût de transport entre les régions.

Les données utilisées proviennent principalement de la Division de l'Analyse structurelle de Statistique Canada. Il s'agit des données

---

1. Pour Transportation Oriented Multiregional Model - 2ième version. La première version est de Los (1980).

input-output régionales pour 1974, qui ont été obtenues à partir d'une désagrégation aussi poussée que possible des données originales servant à calculer les tableaux input-output nationaux. Or, ces données ne sont pas disponibles à un niveau plus désagrégé que les provinces et il a donc été décidé de modéliser les flux interrégionaux à ce niveau provincial (en regroupant le Nouveau-Brunswick, la Nouvelle-Ecosse et l'Ile-du-Prince-Edouard dans une seule région). Dans un deuxième temps, on indiquera qu'il est possible en tenant compte de l'importance relative des zones à l'intérieur de chaque région, de désagréger ces résultats inter-provinciaux au niveau de 67 zones.

1.3 Aperçu

Le chapitre 2 fait une revue des différentes approches de modélisation des flux interrégionaux et de leurs applications. Au chapitre suivant, on décrit les données input-output régionales canadiennes qui seront utilisées pour estimer les paramètres du modèle TOMM-2. La formulation de ce dernier est explicitée au chapitre 4, en même temps qu'on le justifie sur le plan théorique. Le modèle étant présenté sous la forme d'un programme mathématique non-linéaire, le chapitre 5 explique la méthode de résolution duale qui a été utilisée. Le chapitre suivant explique comment sont obtenus les flux de marchandises a priori vers lesquels la solution du programme mathématique tend. Puis, au chapitre 7, les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2 sont comparés aux résultats obtenus avec trois modèles: gravitaire, entropique pur et linéaire. Au chapitre suivant, on présente deux applications du modèle: sur les multiplicateurs d'output et de revenu, et sur l'importance des coûts

de transport dans la répartition de l'activité économique au Canada. Au chapitre 9, on indique comment les matrices O - D au niveau des régions peuvent être désagrégées en matrices interzonales 67 par 67. Finalement, le chapitre 10 conclut sur les perspectives ouvertes par cette recherche.

CHAPITRE 2

LA MODELISATION DES FLUX INTERREGIONAUX

On a souligné dans l'introduction l'intérêt d'aborder le problème de la demande de transport de marchandises, en tenant compte des interactions entre les économies régionales. La première direction dans laquelle on peut regarder est donc celle des modèles économiques multirégionaux. Les études comparatives de Bolton (1980), Courbis (1980), Nijkamp et Rietveld (1980), Schubert (1981) et Rietveld (1981) illustrent bien l'intérêt porté à ces modèles au cours des vingt dernières années. L'enquête de Rietveld, la plus complète puisqu'elle ne se limite pas à l'Amérique du Nord ou à l'Europe de l'Ouest, contient à elle seule la description de 45 modèles. Or, il n'a retenu que les modèles ayant été développés après 1970 et qui sont opérationnels ou sur le point de le devenir. Ce dernier point est significatif lorsqu'on connaît le danger, souligné par Miernyk (1976), de développer des modèles théoriques qui vont bien au-delà de nos capacités de les implanter.

Tous ces modèles ne représentent cependant pas explicitement les flux interrégionaux de marchandises. Certains se limitent à désagréger les variables économiques nationales comme la production, l'emploi ou les investissements, au niveau des régions sans considérer aucun lien direct entre les économies régionales. C'est le cas notamment des modèles hiérarchisés de haut en bas ("top-down models") où les régions

sont influencées par le comportement national, mais où elles n'influencent pas la nation. Le modèle de Milne, Adams et Glickman (1980), qui désagrège les résultats obtenus pour l'ensemble des Etats-Unis par le modèle économétrique du Wharton School of Finance and Commerce (Evans et Klein, 1968), est typique de cette approche. Le modèle canadien Candide-R (D'Amours, Chabot-Plante et Simard, 1975), bien que l'offre et la demande de travail et les investissements dans la construction résidentielle soient déterminés au niveau régional selon une approche hiérarchisée de bas en haut ("bottom-up approach"), ne tient compte lui non plus d'aucun lien direct entre les régions. Plusieurs autres modèles insistent sur certaines interactions entre les régions, par exemple, au niveau du marché du travail (Olsen et al., 1977; Glejser et al., 1973) ou de la consommation d'énergie (Lakshmanan, 1979), sans pour autant modéliser le commerce interrégional.

Il est par ailleurs possible de représenter les flux interrégionaux à partir d'une analyse de la demande de transport plutôt que d'une représentation des interactions entre des systèmes économiques régionaux. C'est la deuxième direction dans laquelle nous regarderons. Smith (1975) et Oum (1979) font une revue de ces modèles qui privilégient l'analyse du problème de choix modal. La plupart d'entre eux supposent en effet connus les flux de marchandises entre les régions et ils estiment la part de marché accaparée par chacun des modes, étant donné leurs caractéristiques en termes de qualité de service et prix. C'est le cas, notamment des modèles de demande dérivée de Perle (1964), Sloss (1971), Friedlander et Spady (1977) et Oum (1979).

On ne retiendra donc parmi ces modèles économiques multirégionaux et de demande de transport, que ceux permettant d'estimer le flux total de marchandises entre des régions. En prenant comme critère de classification la méthodologie utilisée pour tenir compte du lien entre les régions, les modèles ont été regroupés selon six approches différentes:

- les modèles de programmation linéaire;
- les modèles économétriques de demande de transport;
- les modèles d'équilibre spatial;
- les modèles d'interaction spatiale;
- les modèles input-output interrégionaux;
- les modèles d'interaction spatiale incorporant des contraintes input-output.

2.1 Les modèles de programmation linéaire

La programmation linéaire est une technique d'optimisation qui permet d'obtenir le maximum ou le minimum d'une fonction objectif linéaire assujettie à certaines contraintes linéaires. Illustrons le problème pour une seule marchandise dans une économie où il y a R régions repérées par les indices i ou j. Si on connaît:

c_{ij} = le coût de production dans la région i plus le transport jusqu'à la région j;

O_i = la quantité totale produite dans la région i;

D_j = la quantité totale requise dans la région j;

alors, l'objectif est de trouver l'ensemble des flux x_{ij} tel que le problème suivant soit résolu:

$$\text{Min} \quad C = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij} \, c_{ij} \qquad (1)$$

$$\text{tel que} \quad \sum_{j=1}^{R} x_{ij} \leq O_i \qquad i = 1,\ldots,R \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{R} x_{ij} \geq D_j \qquad j = 1,\ldots,R \qquad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad i,j = 1,\ldots,R \qquad (4)$$

en supposant que la capacité totale de production excède la demande totale ($\sum_{i=1}^{R} O_i \geq \sum_{j=1}^{R} D_j$). La première série de contraintes implique que la capacité de produire d'une région ne doit jamais être dépassée. La deuxième série implique que les demandes dans chaque région doivent être satisfaites.

Ce modèle de programmation linéaire, souvent appelé "problème de transport", peut d'abord servir de façon normative dans la planification d'un réseau de production et de distribution, mais on s'en est également servi pour prédire les flux interrégionaux. Henderson (1958) aux Etats-Unis et Land (1957) en Grande-Bretagne ont appliqué ce modèle aux mouvements de charbon, alors que Fox (1953) et Morrill et Garrison (1960) se sont intéressés aux grains de provende et au blé, respectivement, aux Etats-Unis. Plus récemment, Mera (1971), Chisholm et O'Sullivan (1973), O'Sullivan et Ralston (1974) et Baranov et Matlin (1981) ont utilisé ce modèle avec des données pour le Pakistan, la Grande-Bretagne, les Etats-Unis et l'U.R.S.S., respectivement, pour plusieurs catégories de biens. Moses (1960) et Heady et Skold (1966) utilisent la

programmation linéaire dans des formulations plus élaborées, qui prédisent simultanément la localisation optimale de la production et le commerce. Finalement, notons qu'Harris (1980) se sert d'un "problème de transport" non pas pour trouver un équilibre de transport, mais pour obtenir des coûts "marginaux" de transport qui sont utilisés comme variable explicative dans un modèle de localisation de la production.

La solution d'un problème linéaire a cependant deux caractéristiques qui limitent son application. Premièrement, dans un système de R régions il n'y aura au plus que 2R-1 flux différents de zéro sur une possibilité de R^2 flux. Deuxièmement, ce problème ne peut s'appliquer qu'à des marchandises très homogènes puisque la solution optimale ne permet pas de flux croisés [1]. Or, on doit regrouper les diverses marchandises dans des catégories qui deviennent relativement hétérogènes, et on observe alors des flux croisés pour ces catégories de biens qui ne sont plus parfaitement substituables. Le modèle linéaire s'avère donc peu réaliste avec les données dont on dispose où il y a en moyenne 38,7 flux non-nuls pour chaque bien, sur une possibilité de 64, alors que ce modèle n'en permet que quinze.

Mais, ce ne sont pas là les seuls problèmes, puisqu'encore faudrait-il considérer que l'ensemble du système de transport se comporte de façon concertée comme un producteur unique. Même si le critère

---

1. Il est en effet impossible que $x_{ij} > 0$ et $x_{ji} > 0$ $(i \neq j)$ puisque $c_{ii} < c_{ij}$ et $c_{jj} < c_{ji}$.

de minimisation du coût de transport semble intéressant du point de vue de la rationalité économique, il s'avère donc trop simple pour représenter adéquatement la rationalité des expéditeurs qui doivent tenir compte en plus de facteurs institutionnels et historiques, par exemple.

2.2 Les modèles économétriques de demande de transport

On regroupe ici une série de modèles assez disparates qui ont en commun d'utiliser les techniques économétriques et d'aborder le problème sous l'angle de la demande de transport. Pour l'un de ces modèles, on ne peut vraiment parler de demande puisque l'étude en question (Commission canadienne des transports, 1978) utilise les méthodes de Box-Jenkins pour prédire les flux entre cinq régions du Canada, les Etats-Unis, l'Europe, le Japon et l'Amérique latine, par bateau et par chemin de fer. Elle se limite à trois biens: le charbon, le papier journal et les produits chimiques. Pour chacune des paires origine-destination, on fait alors une régression à partir de données mensuelles allant de 1957 à 1976, puis on utilise ces résultats pour projeter les séries chronologiques jusqu'en 1985.

Une étude antérieure de la Commission canadienne des transports (1976) a estimé pour 23 catégories de biens, les flux entre les mêmes régions et pour les mêmes deux modes. Chaque lien, caractérisé suivant son origine, sa destination et le mode utilisé, fait l'objet d'une équation différente, mais toutes les équations par rapport à un bien sont estimées simultanément. Le modèle est spécifié à l'aide

d'une forme fonctionnelle linéaire, les variables explicatives étant la production excédentaire dans la région d'origine, la consommation excédentaire dans la région de destination, les coûts de transport, les mouvements complémentaires de marchandises et les mouvements compétitifs de marchandises. On entend par mouvements compétitifs les liens entre les deux mêmes régions pour les deux modes par exemple, et par mouvements complémentaires les liens qui se retrouvent sur une même route, par exemple des Maritimes au Québec, puis du Québec à l'Ontario. Cet exemple fait d'ailleurs ressortir l'une des faiblesses de ce modèle, soit sa difficulté de bien différencier les mouvements en transit, des véritables flux d'une origine à une destination donnée. Les différentes équations, pour un bien donné, sont de plus estimées indépendamment des autres biens et il n'y a donc pas d'interaction entre la demande de transport des différents biens. Le modèle pose également un problème de données et on a ainsi dû approximer plusieurs variables de consommation excédentaire puisqu'on ne possédait pas comme tel ces données.

Au M.I.T., Terziev, Ben-Akiva et Roberts (1975) ont adopté une approche de type demande désagrégée. Ce modèle est basé sur la décision individuelle d'un expéditeur d'envoyer par le mode m un chargement d'une certaine grosseur d'un bien donné, entre une origine i et une destination j. L'expéditeur a le choix de la destination, du mode et d'envoyer ou non un lot donné. Une fois estimées ces probabilités, on les somme pour l'ensemble des expéditeurs situés en i et on multiplie par le poids moyen d'un tel lot utilisant le mode m. En

plus d'exiger une quantité considérable de données qui sont difficilement accessibles, ce modèle ne tient évidemment pas compte de nombreuses interactions possibles entre les expéditeurs , ou les biens, ou les origines et les destinations.

L'approche mode-abstrait ("abstract mode") permet également d'estimer les flux interrégionaux dans sa formulation combinant la distribution et le choix modal. Quandt (Mathematica, 1967; Quandt et Baumol, 1966) a tenté d'appliquer cette approche au transport des marchandises. Le flux entre i et j par le mode m est estimé en fonction de variables sur la production en i et l'attraction en j, mais surtout en fonction des diverses caractéristiques du mode m. Le modèle se rapproche donc du modèle gravitaire par l'inclusion des variables d'attraction et de production, mais l'accent est surtout mis sur les aspects de choix modal. Les paramètres étant estimés en faisant abstraction du mode, on peut alors étudier l'impact de l'introduction d'un nouveau mode de transport avec son vecteur de caractéristiques propres. Comme les modèles précédents, il ne tient pas compte de l'interaction entre la demande de transport pour les différents biens, en plus de poser certains problèmes au niveau même du choix modal (Oum, 1979). Baumol et Vinod (1970) enrichissent cette approche en la combinant à la théorie des inventaires. Le résultat est un modèle dont les exigences en terme de données sont tout à fait irréalistes, de l'aveu même des auteurs (Smith, 1975).

2.3 Les modèles d'équilibre spatial

Ces modèles trouvent leur fondement dans le théorème de Ricardo sur la théorie du commerce, qu'Ohlin (1933) a appliqué au commerce interrégional. Ce commerce existe parce que toutes les parties impliquées dans ce processus retirent un gain de cet échange de biens et services dans la mesure où les coûts relatifs de production varient entre les régions. Si les facteurs de production peuvent se déplacer, l'inclusion des coûts de transport complétera l'analyse et on peut alors dériver l'ensemble des théorèmes relatifs à la théorie de la localisation. Si la localisation est fixe, le différentiel dans les prix et les coûts de transport expliquera le commerce entre les régions en excluant cependant la possibilité de flux croisés puisque la théorie suppose un fonctionnement parfait du marché interrégional.

Takayama et Judge (1971), s'inspirant de Enke (1951) et Samuelson (1952), ont défini une approche par la programmation mathématique à ce problème d'équilibre spatial. Le coeur de leur modèle sont les fonctions d'offre et de demande régionales qui sont estimées économétriquement avant d'être intégrées à un problème de transport généralisé. Dans un problème de transport conventionnel, les demandes et les productions régionales sont fixes, alors qu'ici, elles sont endogènes. Leur approche est partielle dans la mesure où les revenus sont fixes, mais elle tient compte de l'aspect essentiel de l'équilibre général puisqu'il y a détermination simultanée des prix et des quantités.

Selon leur définition, un état économique sera dit en équilibre spatial de prix si les conditions suivantes sont remplies:

i) Conditions d'équilibre de marché: Il ne peut y avoir de demande ou d'offre excédentaire;

ii) Conditions sur l'offre: Une région ne produit que si le prix du marché est supérieur à un prix minimum, ce prix sur le marché régional devant être égal au prix d'offre régional;

iii) Conditions sur la demande: Une région ne demande un bien que si le prix du marché est inférieur à un prix maximum, ce prix sur le marché régional devant être égal au prix de demande régional;

iv) Conditions d'équilibre de localisation des prix: Il y a concurrence et personne ne doit s'enrichir par le commerce, la différence de prix entre deux régions étant égale au coût de transport entre ces deux régions.

Regardons ce modèle dans le cas où il y a un seul bien et n régions. Les fonctions inverses de demande et d'offre pour la région i sont données, soit respectivement

$$p_i = d_i(y_i) \tag{5}$$

$$p^i = s_i(x_i) \tag{6}$$

Les variables du problème sont les quantités x_i produites dans chaque région, les quantités y_i consommées dans chaque région et les

flux x_{ij} entre les régions i et j. Les prix p_i et p^i sont respectivement les prix de demande et les prix d'offre dans la région i. On fait des hypothèses usuelles sur les fonctions de demande et d'offre, à savoir qu'elles sont continues, différentiables et monotones décroissantes pour la demande, croissantes pour l'offre. Le programme mathématique consiste alors à maximiser une fonction de quasi-bien-être net pour l'ensemble des régions, soit

$$NW = \sum_{i=1}^{n} W_i\ (y_i - x_i) - \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} t_{ij}\ x_{ij} \qquad (7)$$

où W_i est une fonction de quasi-bien-être strictement concave par rapport à x_i et y_i, et t_{ij} est le coût de transport unitaire entre i et j. Cette fonction de quasi-bien-être, qui n'a pas de signification économique, coincide avec les surfaces situées en-dessous des fonctions de demande excédentaire régionales. Les contraintes du programme sont:

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \geq y_j \qquad j = 1,\ldots,n \qquad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq x_i \qquad i = 1,\ldots,n \qquad (9)$$

$$x_{ij}\ ,\ x_i\ ,\ y_j \geq 0 \qquad i,j = 1,\ldots,n \qquad (10)$$

La fonction objectif étant une somme de fonctions strictement concaves et d' une fonction linéaire, est elle-même concave. Les conditions de Kuhn-Tucher sont alors nécessaires et suffisantes pour

obtenir l'optimalité globale et à partir de ces conditions, Takayama et Judge ont vérifié que chacune des caractéristiques d'un équilibre spatial de prix était vérifiée.

Florian et Los (1981) proposent une formulation plus générale qui permet l'utilisation d'algorithmes de résolution plus efficaces. Mais cela demeure une généralisation du problème de transport, en gardant une des principales faiblesses de cette approche, soit l'absence de flux croisés. Les applications se sont par ailleurs limitées au modèle à un seul bien, la généralisation pour plusieurs biens demandant un travail énorme d'estimation de toutes les fonctions d'offre et de demande régionales. Dans Judge et Takayama (1973), on trouve plusieurs de ces applications qui portent toutes sur des produits agricoles définis de façon très restreinte pour assurer l'homogénéité du bien. De plus, même dans sa version théorique à plusieurs biens, ce modèle ne parvient pas à représenter adéquatement les interdépendances entre les divers biens puisqu'il ne considère pas la demande intermédiaire générée par les relations intersectorielles.

Treyz (1980) propose un modèle qui n'est pas à proprement parler un modèle d'équilibre spatial mais qui repose sur les mêmes fondements. Il estime directement la proportion du produit i dans la région m qui est fournie par la région k , ${}^{k}r_{i}^{m}$, en l'expliquant par un processus d'adaptation aux coûts comparatifs de produire ce bien i dans les diverses régions. La principale variable explicative est $(P_i^k + {}^{k}S_i^{m})/Y_i^m$, où P_i^k est le coût unitaire moyen pour produire le bien i dans

la région k relativement à l'ensemble du pays, ${}^{k}s_{i}^{m}$ est le coût de transport unitaire entre k et m, et Y_i^m est le coût moyen à l'achat de bien i dans la région de destination m. Le commerce interrégional est donc déterminé par les différences interrégionales dans les coûts de production, compte tenu des coûts de transport. Tout comme le modèle de Takayama et Judge, ce modèle est très exigeant au niveau des données indispensables à son implantation et il n'est pas encore opérationnel. C'est finalement cette difficulté d'implanter les modèles d'équilibre spatial qui nous empêche de les considérer dans le contexte du problème qui a été défini au premier chapitre.

2.4 Les modèles d'interaction spatiale

2.4.1 L'hypothèse gravitaire

D'un point de vue méthodologique, l'hypothèse gravitaire décrit le degré d'interaction spatiale entre deux points d'une façon analogue à la loi de la force gravitationnelle de Newton en physique. Cette dernière stipule que la force d'attraction F_{ij} entre deux entités i et j est proportionnelle à leurs masses respectives m_i et m_j et inversement proportionnel au carré de la distance d_{ij} entre ces deux entités:

$$F_{ij} = k\left(\frac{m_i \; m_j}{d_{ij}^{\;2}}\right) \quad , \tag{11}$$

où k est un facteur constant de proportionnalité. Même si l'analogie entre les phénomènes d'interaction spatiale humaine et les phénomènes physiques ne peut constituer un fondement théorique suffisant, Chang-i et Porell (1979) notent que dès le milieu du XIX$^{\text{ième}}$ siècle on a utilisé

ce modèle mathématique simple en sciences sociales. Dans les vingt dernières années de nombreux efforts ont porté tant sur les aspects théoriques et empiriques de ces modèles avec, comme nous le verrons, des résultats plus ou moins encourageants.

Le modèle, appliqué aux flux de marchandises entre les zones i et j, peut alors s'écrire sous la forme générale suivante:

$$x_{ij} = k\ O_i^a\ D_j^b\ f(c_{ij}) \qquad (12)$$

où x_{ij} : flux entre les régions i et j;

O_i : volume total des flux originant de la région i;

D_j : volume total des flux arrivant dans la région j;

k : facteur de proportionnalité;

$f(c_{ij})$: une fonction quelconque de la distance entre les régions i et j où, par exemple, c_{ij} est le coût de transport entre ces points;

a,b : paramètres à estimer.

Ce modèle pose un problème. Si un O_i donné et un D_j donné doublent on s'attend à ce que les flux entre les deux régions doublent également. Or, ce ne sera le cas que si a plus b est égal à un. Ainsi, dans la spécification classique du modèle de gravité où a et b sont égaux à l'unité, si tous les O_i et D_j doublent tous les flux x_{ij} quadruplent, ce qui est certainement absurde. Cette incongruité du modèle découle de l'absence des conditions d'additivité, ce qui peut être corrigé en tenant compte des contraintes suivantes:

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ij} = O_i \qquad i = 1,\ldots,R \qquad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{R} x_{ij} = D_j \qquad j = 1,\ldots,R \qquad (14)$$

Ces contraintes seront satisfaites si des facteurs de balancement A_i et B_j, associés aux régions de production et d'attraction, sont introduits. Le modèle gravitaire modifié s'écrit alors

$$x_{ij} = A_i\ B_j\ O_i\ D_j\ f(c_{ij}) \qquad (15)$$

où $$A_i = \left[\sum_{j=1}^{R} B_j\ D_j\ f(c_{ij}) \right]^{-1} \qquad (16)$$

$$B_j = \left[\sum_{i=1}^{R} A_i\ O_i\ f(c_{ij}) \right]^{-1} \qquad (17)$$

Ces facteurs assurent que les conditions d'additivité sont respectées. On peut alors solutionner le problème en résolvant de façon itérative les équations pour A_i et B_j. Or, des résultats identiques peuvent être obtenus d'un modèle entropique qui a l'avantage d'imposer à priori ces conditions d'additivité sur les origines et les destinations. Nous allons donc introduire ici le concept d'entropie et la théorie de l'information qui sont à l'origine de la grande vogue des modèles de type gravitaire dans les années soixante-dix.

2.4.2 Entropie et théorie de l'information

Dans le contexte de la mécanique statistique, Jaynes (1957) énonce son principe d'incertitude maximum qui s'avère important dans toute situation de raisonnement inductif où le système étudié n'est pas complètement spécifié. Si on veut prédire sans biais les caractéristiques d'un tel système en terme de probabilité, on doit choisir la distribution qui contient le plus grand niveau d'incertitude, et qui

soit en même temps compatible avec toutes les informations disponibles. Cette distribution, il l'obtient en maximisant l'expression

$$H(p) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i \qquad (18)$$

assujettie aux faits pertinents qui sont traités comme contraintes, où $p_i = p_1, p_2, \ldots, p_n$ est une distribution de probabilité. Il parle de la distribution qui est "maximally non-committal with regard to missing information" (Jaynes, 1957, p. 620).

Cette expression, Jaynes l'a empruntée à la théorie de la communication de Shannon (1948). Pour ce dernier, elle représente l'information manquante ou l'incertitude dans une distribution de probabilité. Il applique ce concept pour mesurer la capacité d'un système codé de transmettre ou d'emmagasiner des messages. Remarquant l'identité entre son expression et la formule d'entropie proposée par Boltzman (1875) pour mesurer le degré de désordre dans un système, en accord avec la seconde loi de la thermodynamique classique, il définit H (p) comme l'entropie de la distribution de probabilité p_i.

Shannon avait montré que cette fonction est une mesure unique d'incertitude puisqu'elle est la seule à satisfaire aux trois conditions suivantes:

i) H (p) est une fonction continue des p_i.

ii) Si tous les p_i sont égaux, $p_i = 1/n$, alors H (p) est une fonction monotone croissante de n. Avec des événements équiprobables, il y a plus d'incertitude quand il y a plus d'événements possibles.

iii) Si un choix se décompose en plusieurs choix successifs, la valeur originale de H (p) sera égale à la somme pondérée des valeurs individuelles de H (p). Empruntons à Shannon l'exemple suivant où on a ces deux arbres de probabilité.

alors, avec la mesure d'entropie, on aura

$$H\ (1/2\ ,\ 1/3\ ,\ 1/6) = H\ (1/2\ ,\ 1/2) + 1/2\ H\ (2/3,\ 1/3).$$

Cette quantité H (p) a certaines autres propriétés intéressantes qui justifient son utilisation comme mesure d'incertitude. Ainsi, H (p) = 0 si et seulement si tous les p_i, sauf un qui est égale à l'unité, sont nuls. Comme nous sommes certains du résultat dans ce cas il n'y a pas d'incertitude, alors que dans tous les autres cas H (p) est positif. Par ailleurs, pour un n donné, H (p) est maximal et égal à log n lorsque tous les p_i sont égaux. C'est évidemment la situation la plus incertaine. Finalement, la valeur de H (p) augmente à mesure qu'on se rapproche de cette situation d'équiprobabilité.

Kullback (1959) propose une généralisation du concept d'entropie avec la formule suivante

$$I\ (p,q) = \sum_{i=1}^{n} p_i\ \ln\ (p_i/q_i) \qquad (19)$$

qui mesure le gain d'information d'une distribution de probabilité à posteriori p_i, par rapport à une distribution à priori connu q_i. Cette mesure caractérise la proximité entre deux distributions de probabilité, ce qu'on peut démontrer à partir de la justification intuitive donnée par Theil (1969).

Le but est de trouver un nombre scalaire mesurant le degré de changement entre n probabilités à priori $(q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_n)$ et n probabilités à posteriori $(p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots, p_n)$. D'après la théorie de l'information, le contenu informatif d'un message sur la réalisation d'un événement E_i de probabilité q_i est donné par $\ln (1/q_i)$. Il s'agit d'une fonction monotone décroissante de l'infini pour $q_i=0$, à zéro, pour $q_i=1$. C'est décroissant puisque plus un événement est probable moins le message confirmant sa réalisation est informatif. Le message n'apporte ainsi aucune information lorsque la probabilité est égale à un. En utilisant la forme logarithmique, on a de plus une propriété souhaitable sur l'additivité du contenu informatif de deux messages séparés portant sur la réalisation de deux événements indépendants E_i et E_i', soit

$$\ln\left(\frac{1}{q_i q_i'}\right) = \ln\left(\frac{1}{q_i}\right) + \ln\left(\frac{1}{q_i'}\right) \qquad (20)$$

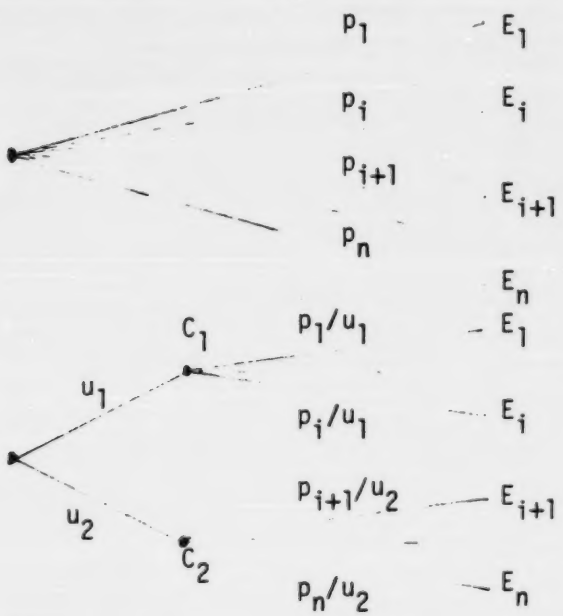
Supposons maintenant que le message ne nous informe pas sur la réalisation d'un événement E_i, mais nous donne plutôt une nouvelle probabilité de réalisation à posteriori p_i. Le contenu informatif du message transformant q_i en p_i est alors défini par $\ln (p_i / q_i)$.

Ceci est positif si $p_i > q_i$, nul si $p_i = q_i$ et négatif si $p_i < q_i$. Si on fait face à un système d'événements mutuellement exclusifs $E_1,\ldots,E_i,\ldots,E_n$, le gain attendu du message transformant les q_i en p_i est alors égal à la mesure I (p,q) donnée en (19). De plus, la mesure d'entropie H (p) peut être vue comme le cas particulier où on ne dispose pas d'information à priori sur la probabilité de réalisation des événements du système.

Theil (1969) a aussi noté que cette mesure est proportionnelle à la mesure de chi-carré entre deux distributions de probabilité, ce qui ne permet pas de favoriser l'une plutôt que l'autre. Or, Hobson (1969) a démontré que I (p,q) est bel et bien une mesure unique, à un facteur positif près, du contenu informatif d'un message sous les cinq conditions suivantes:

1) I (p,q) est une fonction continue des p_i et q_i.
2) La valeur de I (p,q) ne dépend pas de l'ordre dans lequel les événements sont classés.
3) Si $p_i = q_i$ pour tout i, il n'y a pas de gain d'information et I (p,q) = 0.
4) Soit I ($^1/n_1,\ldots,^1/n_1,0,\ldots,0; ^1/n_0,\ldots,^1/n_0$) qui représente le gain d'information lorsque le nombre d'événements équiprobables est réduit de n_0 à n_1, alors I (p,q) est une fonction croissante de n_0 et décroissante de n_1 pour tout n_0 et n_1 tel que $n_0 \geq n_1$. Ceci implique, par exemple, que le gain d'information est plus grand lorsqu'on réduit de 10 à 6 le nombre d'événements équiprobables, plutôt que de 10 à 7.

5) I (p,q) doit respecter une règle de décomposition tel que le gain d'information soit le même quelle que soit la forme de l'arbre de probabilité. Par exemple, les deux arbres suivants doivent produire un même gain d'information



Los (1979) souligne que cette dernière condition est la plus restrictive. Elle suppose que les événements E_1 , E_2,...,E_n sont vraiment distincts. Par exemple, si en partitionnant les événements on peut en regrouper certains qui soient très similaires, le gain d'information conditionnel à ce groupe sera plus faible que si toutes les alternatives dans ce groupe apparaissent vraiment distinctes. Pour être indifférent à la façon de regrouper les alternatives, il faut donc que toutes les alternatives soient vraiment distinctes. Cette caractéristique amène Los à faire un rapprochement entre la

mesure d'information et le modèle logit multinominal dont la condition d'indépendance par rapport aux alternatives non-pertinentes (Independence from Irrelevant Alternatives) est analogue à la règle de décomposition énoncée au critère cinq.

Snikars et Weibull (1977) ont démontré qu'on peut dériver la fonction I (p,q) à partir de l'analyse combinatoire, en se servant cependant de l'approximation de Sterling. Ils ont également montré que I (p,q) $\geq$ 0, l'égalité étant possible uniquement dans le cas ou $p_i = q_i$ pour tout i. De plus, ils soulignent que I (p,q) est une fonction strictement convexe des p_i, ce qui implique qu'il y a une solution unique au problème de minimisation de cette fonction sous des contraintes linéaires.

2.4.3 Formulation entropique du modèle gravitaire

Wilson (1967) dérive d'une fonction entropique le modèle gravitaire représenté par les équations (15), (16) et (17). Il propose en même temps une dérivation plus intuitive de la mesure d'incertitude H (p). Son raisonnement repose sur la distinction entre les micro-états qui décrivent complètement un système donné et qui sont uniques, et les macro-états qui ne le décrivent que par rapport à certaines caractéristiques agrégées et auxquels plusieurs micro-états peuvent correspondre. En accord avec le principe d'entropie maximale énoncé par Jaynes, la seule hypothèse raisonnable consiste alors à poser que tous les micro-états sont équiprobables, à moins d'information contraire. Dans le cas des flux de marchandises un macro-état peut être une matrice origine-destination respectant les

contraintes d'offre et de demande dans chaque région, alors qu'un micro-état spécifie l'origine et la destination individuelles de chaque tonne transportée, tout en respectant les mêmes contraintes. Le macro-état le plus probable sera alors celui pour lequel on peut associer le plus grand nombre de micro-états équiprobables différents.

Définissons x_{ij} $(i,j = 1,\ldots,R)$ le flux en tonnes pour un certain bien entre les régions i et j, et $T = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}$ le flux total entre toutes les régions. On cherche la matrice $\left[x_{ij}\right]$ à laquelle correspond le plus grand nombre de micro-états. Notons $W(\left[x_{ij}\right])$ ce nombre qu'il faut maximiser par rapport à x_{ij}, et l'analyse combinatoire nous permet de l'exprimer sous la forme suivante:

$$W(\left[x_{ij}\right]) = \frac{T!}{\prod_{i,j=1}^{R} x_{ij}!} \qquad (21)$$

Il est plus commode de maximiser le logarithme de cette expression et, en utilisant l'approximation de Sterling on obtient

$$\ln W(\left[x_{ij}\right]) = \ln T! - \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} (x_{ij} \ln x_{ij} - x_{ij}) \qquad (22),$$

qu'on peut ramener à la mesure d'incertitude introduite par Shannon en définissant $p_{ij} = x_{ij} / T$. Réécrivons (22) en termes des p_{ij}, soit

$$\ln W = \ln T! - \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} T\, p_{ij} \left[(\ln p_{ij} - \ln T) - T\, p_{ij}\right] \qquad (23)$$

$$= \ln T! - T \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} p_{ij} \ln p_{ij} - (T \ln T - T) \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} p_{ij} \qquad (24)$$

$$= \ln T! - T \ln T + T - T \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} p_{ij} \ln p_{ij} \qquad (25)$$

Qu'on maximise l'entropie H (p) ou ln W, on obtiendra la même solution en x_{ij}, les deux expressions étant en fait linéairement reliées.

Le modèle gravitaire, Wilson l'obtient en maximisant ln W assujetti aux contraintes d'offre et de demande dans chaque région, soit

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ij} = O_i \qquad i = 1,\ldots,R \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^{R} x_{ij} = D_j \qquad j = 1,\ldots,R \tag{14}$$

et à la contrainte suivante sur le coût total de transport

$$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}\, c_{ij} = C \tag{26}$$

où c_{ij} est le coût unitaire de transport et C est le coût total, qui est donné, pour transporter ces flux. La fonction de Lagrange du problème précédent s'écrit:

$$L(x,\lambda,\gamma) = \ln W + \sum_{i=1}^{R} \lambda_i^{\circ} \left(O_i - \sum_{j=1}^{R} x_{ij}\right) + \sum_{j=1}^{R} \lambda'_j \left(D_j - \sum_{i=1}^{R} x_{ij}\right) + \gamma \left(C - \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}\, c_{ij}\right) \tag{27}$$

où $\lambda^{\circ}_i, \lambda'_j$ et γ sont les multiplicateurs de Lagrange associés aux contraintes (13), (14) et (26) respectivement. Alors des conditions d'optimalité du problème:

$$\frac{\partial L}{\partial x_{ij}} = -\ln x_{ij} - \lambda_i^{\circ} - \lambda'_j - \gamma c_{ij} = 0 \tag{28}$$

on déduit l'expression

$$x_{ij} = \exp\ (-\lambda^{o}_{i} \ - \lambda'_{j} - \gamma c_{ij}) \tag{29}$$

En définissant

$$A_i = \frac{\exp\ (\ -\lambda^{o}_{i}\ )}{O_i} \tag{30}$$

et $$B_j = \frac{\exp\ (\ -\lambda'_{j}\ )}{D_j} \tag{31}$$

on obtient une équation analogue à celle du modèle gravitaire, soit

$$x_{ij} = A_i\ B_j\ O_i\ D_j\ \exp\ (-\gamma c_{ij}) \tag{32}$$

La différence entre (15) et (32) se situe au niveau de la fonction de coût qui a ici une spécification particulière soit la forme exponentielle négative. Si on substitue (29) dans (13) et (14) on obtient par ailleurs

$$\exp\ (-\lambda^{o}_{i}\ ) = O_i \left[\sum_{j=1}^{R} \exp\ (-\lambda'_{j} - \gamma c_{ij}) \right]^{-1} \tag{33}$$

$$\exp\ (-\lambda'_{j}\ ) = D_j \left[\sum_{i=1}^{R} \exp\ (-\lambda^{o}_{i} - \gamma c_{ij}) \right]^{-1} \tag{34}$$

qu'on peut utiliser avec (30) et (31) pour obtenir les facteurs de balancement:

$$A_i = \left[\sum_{j=1}^{R} B_j\ D_j\ \exp\ (-\gamma c_{ij}) \right]^{-1} \tag{35}$$

$$B_j = \left[\sum_{i=1}^{R} A_i\ O_i\ \exp\ (-\gamma c_{ij}) \right]^{-1} \tag{36}.$$

En plus de donner un fondement probabiliste au modèle de gravité l'approche de Wilson, en utilisant la programmation mathématique, permet une grande variété de formulations. C'est sans doute ce qui explique

la grande popularité des modèles d'interaction spatiale dans les années soixante-dix. Il faut maintenant se demander si cette approche a réalisé ses promesses, tant au niveau de sa justification théorique que de sa performance avec des données empiriques. C'est ce que nous verrons dans les deux sections suivantes, en insistant particulièrement sur le problème de transport des marchandises.

2.4.4 Justification théorique et critique

L'utilisation des concepts de gravité et d'entropie dans les modèles d'interaction spatiale ne doit certes pas reposer uniquement sur une simple analogie entre des phénomènes physiques et des phénomènes sociaux et humains. Comme le souligne Vermot-Desroches (1979), on distingue deux fondements théoriques différents à ces modèles: l'approche statistique, axée ou non sur le concept d'entropie, et l'approche économique qui privilégie le concept d'utilité. On a vu précédemment que les fondements probabilistes peuvent découler d'une dérivation axiomatique reliée à l'entropie comme mesure d'incertitude ou comme cas particulier d'une mesure de gain d'information, ou de la dérivation plus intuitive de Wilson. Hyman (1969) à partir du théorème de Bayes sur les probabilités conditionnelles et Evans (1971) à partir des estimateurs de maximum de vraisemblance, utilisent également une approche statistique pour arriver à des résultats similaires.

L'approche économique s'est de son côté plutôt préoccupée du problème des déplacements de voyageurs inter ou intra-urbains. Les modèles de Niedercorn et Bechdolt (1969), Beckmann et Golob (1972), Choukroun (1975)

et Nijkamp (1975) présentent, avec des hypothèses différentes, un consommateur qui cherche à maximiser son utilité en allouant un certain budget de transport à des déplacements vers diverses destinations. Intéressé par les déplacements de marchandises nous n'entrerons pas ici dans ce débat sur la relation formelle entre l'entropie et l'utilité. Par contre, Niedercorn et Moorehead (1974) proposent une extension de cette approche à partir de la théorie des choix du producteur. Il leur faut pour cela supposer l'existence d'un monopoleur régional qui maximise son revenu total sous une contrainte de coût total de transport, en discriminant par les prix dans l'espace. Ce modèle manque certes de réalisme au niveau des hypothèses. En effet, les producteurs cherchent plutôt à maximiser leur profit, et les coûts de transport devraient être incorporés dans la fonction de coût total plutôt que dans une contrainte. L'existence du monopole régional est aussi contestable lorsque les décisions d'expédier ou non les marchandises sont prises par une multitude d'entreprises.

Les approches statistiques et économiques sont évidemment différentes, la première se situant au niveau de la description physique des déplacements alors que la seconde se situe "sur un plan causal, explicatif du comportement humain" (Vermot-Desroches et Niedercorn, 1980, p.3). Dans le cas des mouvements de marchandises cette relation comportementale peut être problématique. Vermot-Desroches (1979) note en particulier que le modèle de Niedercorn et Moorehead bien que formulé au niveau du problème de distribution des flux, repose en fait sur une explication de la génération de ces flux. Or, il souligne que le problème de

génération doit inclure un grand nombre de variables explicatives et qu'il ne se ramène pas à un simple problème de maximisation du revenu. Par ailleurs, le problème de distribution doit être résolu en tenant compte de tous les flux dans le réseau de transport. Le fondement statistique des modèles d'interaction spatiale qui ne traitent que de la distribution, lui semble donc préférable et même pleinement justifiable dans le cas des déplacements de marchandises.

Ajoutons que le problème de la causalité et celui de la description d'un système, bien qu'indissociables, peuvent être traités parallèlement. C'est même l'un des fondements de la mécanique statistique qui tente de décrire certains macro-états de système physique dont les spécifications ne sont pas toutes connues[1]. Cette ignorance peut venir d'erreur dans la mesure des paramètres de l'expérimentation, de variables difficilement contrôlables, ou même de l'ignorance de certaines causalités intervenant dans le système. Le but de la mécanique statistique est de faire les meilleures prévisions possibles étant donné l'information disponible. Or, c'est exactement la même situation dans le cas des mouvements de marchandises. Le but des modèles d'interaction spatiale est de faire les meilleures prévisions dans des conditions où toutes les spécifications du système ne peuvent être précisées. La compréhension des comportements individuels des expéditeurs peut certes éclairer ces prévisions mais elle ne pourra peut-être jamais définir à elle seule complètement les diverses variables du système.

---

1. Voir Tolman (1938) et Hobson (1971).

2.4.5 Résultats empiriques

Les premières applications des modèles d'interaction spatiale aux déplacements de marchandises permirent des comparaisons entre ces modèles et le modèle de programmation linéaire. C'est le cas des travaux de Chisholm et O'Sullivan (1973) avec des données pour le Royaume-Uni, de Mera (1971) avec des données pour le Pakistan occidental, de Nijkamp (1975) pour les Pays-Bas et de O'Sullivan et Ralston (1974) avec des données américaines. Ces premiers résultats ne parvinrent pas à démontrer la supériorité d'un modèle sur l'autre, les résultats variant d'un bien à l'autre. On avança alors l'explication que le degré d'homogénéité d'un bien pouvait expliquer ces résultats contradictoires. Le modèle gravitaire serait d'autant supérieur au modèle linéaire, que les catégories de biens considérées sont hétérogènes. Cette interprétation repose sur le fait que le problème linéaire ne permet qu'un nombre restreint de flux positifs et qu'il ne permet pas de flux croisés. Ces caractéristiques ont plus de chances de se retrouver lorsqu'un bien est homogène puisque les décisions rationnelles des acheteurs devraient les amener à s'approvisionner au plus proche fournisseur. La solution linéaire tendra à surestimer les flux intra-régionaux alors que la solution gravitaire tendra à les sous-estimer.

Gordon (1973) avança l'idée que le choix des statistiques servant à la comparaison des résultats pourrait aussi être la cause de ces contradictions. Pitfield (1978) lui donna partiellement raison en démontrant que le choix d'une statistique pour évaluer la performance d'un modèle d'estimation d'une matrice origine-destination peut effectivement affecter

les conclusions. Lui-même n'arrive cependant pas à départager clairement la valeur prédictive des deux modèles étant donné la difficulté de choisir entre ces indices. En fait, selon Gordon (1976), dans la mesure où le modèle gravitaire est bien calibré, il ne peut donner que de meilleurs résultats que le problème linéaire puisque Wilson et Senior (1974) ont montré que le problème linéaire représente un cas limite au modèle gravitaire entropique [1]. Même si on n'accepte pas cette conclusion de Gordon, il reste que le modèle linéaire est trop restrictif dans un contexte où les catégories de biens sont hétérogènes et où il y a un grand nombre de flux positifs.

La conclusion essentielle de l'étude de Pitfield porte cependant sur l'incapacité des deux modèles de prédire de façon convenable les flux interrégionaux de marchandises. En effet, le meilleur résultat parmi les 30 catégories de biens est obtenu avec le problème linéaire pour la catégorie "sable et argile industriels" où 23% des flux doivent être réalloués pour reproduire la distribution observée. Pour le modèle gravitaire, le meilleur résultat est de 26% pour la catégorie "autres terres et pierres". Les pires résultats sont de 56% et 66%, respectivement pour le modèle gravitaire et linéaire et ce pour la même catégorie, soit "gaz, acides et produits chimiques bruts". Or, Nijkamp (1975) à partir de données néerlandaises, Vermot-Desroches (1979) avec des données françaises et Peschel (1980) avec des données pour l'Allemagne Fédérale arrivent au même constat d'échec relatif quant à la

---

1. En s'appuyant sur la preuve de S. Evans (1973)

capacités des modèles d'interaction spatiale de modéliser les flux de marchandises. La même constatation s'applique d'ailleurs aux mouvements de personnes comme on peut le constater dans les études de Hataway (1975), Openshaw (1976), Snickars et Weibull (1977), par exemple.

Une première explication aurait pu résider dans la méthode d'estimation choisie. Or, Openshaw (1979) et Vermot-Desroches (1979) ont montré que le choix d'un critère de calibration ne semble pas affecter sensiblement la performance des modèles en termes de prévision. Les résultats sont également insensibles à la fonction distance ou coût de transport comme l'ont montré Openshaw et Connally (1977), Vermot-Desroches (1979) et Sikdar et Hutchinson (1981). On peut également s'interroger sur certains autres facteurs comme la configuration ou le design de l'espace et l'accessibilité globale du système régional (Curry, 1972; Gordon, 1976), le degré d'agrégation des régions et des catégories de biens (Gordon, 1976), mais le noeud du problème n'est probablement pas là. Il faut sans doute remettre en cause l'importance de la distance ou des coûts de transport pour expliquer les flux interrégionaux, par rapport aux causalités historiques et institutionnelles, par exemple. Cette opinion, émise entre autres par Vermot-Desroches (1979) et Peschel (1980), nous amène à considérer l'aspect interaction entre la demande des différents biens, qui est complètement négligé par les modèles d'interaction spatiale mais qui constitue le fondement même de l'analyse input-output.

2.5 Les modèles input-output interrégionaux

2.5.1 Fondements

Léontief a présenté son modèle input-output des Etats-Unis en 1936 (Léontief, 1936). Ce modèle repose sur l'existence d'une relation technique telle que les achats de n'importe quel secteur (à l'exception de la demande finale) en provenance d'un autre secteur, dépendent du niveau d'output du secteur acheteur via une fonction de production linéaire. Le cadre comptable assure alors que l'output de chaque secteur égale les achats totaux en provenance de ce secteur par tous les secteurs, ces achats étant eux-mêmes déterminés par le niveau de production de chaque secteur. Cette solution ne fait évidemment appel ni à la maximisation du profit, ni à la maximisation de la satisfaction du consommateur, mais sa principale faiblesse réside sans doute dans l'absence d'économie d'échelle et de mécanisme de substitution entre les inputs. Nous n'insisterons pas sur ces aspects qui sont amplement discutés par Miernyk (1965) et Paelinck et Nijkamp (1975), par exemple, et nous nous limiterons à discuter les aspects spatial et régional du modèle input-output classique.

Le but des modèles input-output interrégionaux est de représenter les interactions entre les régions en plus des interactions entre les secteurs industriels. Ces modèles ont d'abord été vus comme une simple désagrégation spatiale du modèle national de Léontief, où on traite des secteurs équivalents dans les différentes régions comme s'ils étaient des industries différentes. C'est le cas du premier de ces modèles,

le modèle "idéal" d'Isard (1951) dont les équations structurelles de base sont [1]:

$$x_i^m - \sum_{n=1}^{M} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^{mn} = \sum_{j=1}^{R} y_{ij}^m \qquad \begin{matrix} m,n = 1,\ldots,M \\ i,j = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (37)$$

où il y a R régions et M secteurs productifs (industries)[2], et où x_i^m représente l'output total de l'industrie m dans la région i, x_{ij}^{mn} représente le flux de l'industrie m dans la région i vers l'industrie n dans la région j, et y_{ij}^m représente la partie de la demande finale pour l'output de m dans la région j satisfaite par la région i et

$$x_{ij}^{mn} = b_{ij}^{mn} \; x_j^n \qquad (38)$$

où b_{ij}^{mn} représente le coefficient spatial d'input, indiquant la quantité de produit du secteur m de la région i nécessaire par unité d'output de l'industrie n dans la région j. En substituant (38) dans (37) on obtient:

$$x_i^m - \sum_{n=1}^{M} \sum_{j=1}^{R} b_{ij}^{mn} \; x_j^n = \sum_{j=1}^{R} y_{ij}^m \qquad \begin{matrix} m,n = 1,\ldots,M \\ i,j = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (39)$$

Les demandes finales régionales nous permettent alors de trouver les productions régionales, la solution étant donnée par

$$x_i^m = \sum_{n=1}^{M} \sum_{j=1}^{R} B_{ij}^{mn} \; y_{ij}^n \qquad \begin{matrix} m,n = 1,\ldots,M \\ i,j = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (40)$$

où $\left[B_{ij}^{mn}\right] = \left[I - b\right]^{-1}$, b étant la matrice des coefficients spatiaux d'input et I une matrice identité.

---

1. En considérant pour l'instant qu'il y a relation bi-univoque entre secteurs productifs et biens ou services.
2. Les régions sont repérées par les indices i ou j, et les secteurs productifs sont repérés par les indices m ou n.

L'absence de données pour calculer les coefficients spatiaux d'input limite évidemment l'utilisation de ce modèle. Aucun pays ne possède les données sur les flux x_{ij}^{mn} nécessaires à leur calcul et les quelques applications citées par Riefler (1973) se limitent à quelques secteurs productifs et à quelques régions très petites avec un nombre relativement peu élevé de firmes à répertorier. Le modèle suppose également la stabilité des coefficients b_{ij}^{mn} lorsqu'on prédit la production future ou qu'on calcule les multiplicateurs. Pour comprendre les implications de cette restriction, il est utile d'identifier, comme le suggère Hartwick (1971), deux composantes dans ce coefficient spatial d'input: a_j^{mn}, le coefficient technique régional exprimant la quantité d'input de l'industrie m, d'où qu'elle provienne, requise par unité d'output de l'industrie n dans la région j, et t_{ij}^{mn}, le coefficient commercial exprimant la proportion de m qui, pour l'industrie n dans la région j, est fournie par l'industrie m de la région i ($\sum_{i=1}^{R} t_{ij}^{mn} = 1$). On a alors la relation

$$b_{ij}^{mn} = t_{ij}^{mn} \; a_j^{mn} \qquad \begin{matrix} m,n = 1,\ldots,M \\ i,j = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (41)$$

L'hypothèse sur les coefficients spatiaux d'input suppose donc la stabilité des coefficients techniques régionaux, de façon analogue au modèle national de Léontief, et la stabilité des coefficients commerciaux. Nous reviendrons sur les implications de cette hypothèse en discutant des différentes approches qui ont tenté d'inférer les coefficients b_{ij}^{mn} à partir des données statistiques disponibles.

2.5.2 Estimation des coefficients commerciaux

L'estimation de coefficients structurels régionaux à partir d'une matrice nationale est une question que nous pouvons éviter au Canada puisque ces coefficients sont disponibles sur une base provinciale (Gaston, 1979)[1]. Nous supposerons donc que les coefficients a_i^{mn} sont disponibles et nous nous pencherons sur les coefficients commerciaux t_{ij}^{mn}.

On doit à Moses (1952) et Léontief (1953) la première approximation du modèle idéal d'Isard. Elle repose sur la distinction entre les industries locales et les industries nationales, les premières ne faisant pas de commerce interrégional. Pour les industries nationales, on utilise la formule

$$b_{ij}^{mn} = (a_j^{mn}\ x_j^n)\ l_i^m\ /\ x_j^n \qquad (42)$$

où a_j^{mn} est un coefficient technique régional, x_j^n est l'output du secteur n dans la région j, et l_i^m est un coefficient de localisation calculé par la formule $l_i^m = x_i^m\ /\ x^m$, où x_i^m et x^m représentent respectivement l'output du secteur m dans la région i et dans l'ensemble du pays. L'avantage de ce modèle tient à ce qu'il ne requiert aucun flux interrégional, mais c'est au prix de plusieurs désavantages. La délimitation entre industries locales et nationales peut être difficile à justifier et on risque de sous-estimer les flux croisés entre les régions. La fiabilité du coefficient de localisation est également douteuse puisqu'on

---

1. On peut consulter Smith et Leigh (1977) et Round (1983) pour des revues critiques des différentes méthodes d'obtention de matrices régionales à partir d'une matrice nationale.

ne considère pas le facteur distance comme élément de distribution des flux. Par exemple, il n'y a aucune raison de croire que l'output dans les régions variera en proportion fixe suite à un changement de la demande finale dans une région donnée.

La deuxième approche a été proposée de façon indépendante par Chenery (1956) et Moses (1955). Comme on le verra subséquemment, cette méthode a été la plus utilisée. Elle estime les flux interrégionaux grâce à l'équation suivante:

$$b_{ij}^{mn} = a_{j}^{mn} \quad t_{ij}^{m} \tag{43}$$

où $t_{ij}^{m} = x_{ij}^{m} \; / \; x_{j}^{m}$, et x_{ij}^{m} est la quantité produite par le secteur m achetée par toutes les industries et les secteurs de la demande finale de la région j en provenance de la région i, et x_{j}^{m} sont les achats totaux d'output de l'industrie m par toutes les industries et les secteurs de la demande finale de la région j en provenance de toutes les régions. Ce modèle suppose la stabilité des structures commerciales régionales et l'uniformité des relations commerciales pour tous les secteurs à l'intérieur d'une région. Or, il n'y a pas de justification théorique pour supposer que ces relations sont les mêmes pour tous les secteurs. Les tests préliminaires de Moses (1952) et ceux de Polenske (1966) ont d'ailleurs fait ressortir de très grands écarts entre la moyenne sur l'ensemble des secteurs et certains secteurs particuliers. Quant à la stabilité de ces relations, elle est très restrictive dans un contexte relié au transport des marchandises puisqu'elle empêche toute substitution entre les sources d'approvisionnement suite à une modification dans la structure des tarifs de transport, par exemple.

Polenske (1966) en contrepartie à l'approche à coefficients colonne constants de Chenery et Moses, selon sa propre terminologie, essaie une approche à coefficients ligne constants. Elle fait référence aux coefficients de la matrice interrégionale et dans cette approche chaque ligne est divisée par l'output de la région d'origine. La distribution de la production d'une région i entre les régions clientes j est donc semblable pour tous les secteurs de la région i. Le coefficient commercial est alors:

$$t_{ij}^{m} = x_{ij}^{m} / x_{i}^{m} \qquad (44)$$

où x_i^m est l'output total du secteur m dans la région i. Cette hypothèse est très discutable puisqu'elle implique que la proportion de l'output de l'industrie m de la région i vendue à la région j reste constante à la suite d'une variation de la demande finale dans une quelconque région. Il n'est donc pas surprenant que Polenske (1970) dans son étude du modèle input-output japonais arrive à la conclusion que le modèle à coefficients ligne constants donne un moins bon résultat que le modèle à coefficients colonne constants. Mais ces deux méthodes demeurent mécaniques et elles seront toutes les deux inefficaces dans le cas où les relations commerciales obéissent à certains impératifs normatifs tel qu'une modification de la structure des coûts de transport.

Une quatrième approche est proposée par Riefler et Tiebout (1970). Comme l'approche de Chenery et Moses, elle suppose l'uniformité des relations commerciales interrégionales pour tous les secteurs à l'intérieur d'une région. Par contre, elle ne suppose pas cette uniformité au niveau

du commerce intrarégional. Un secteur peut donc s'approvisionner de façon accrue dans sa propre région mais pour ce qui vient des autres régions, le pattern d'approvisionnement est identique à la moyenne de l'ensemble des industries de sa région. En plus de la matrice des flux interrégionaux, il faudra alors connaître la structure input-output intrarégionale, soit les coefficients a_{jj}^{mn}. La différence $a_j^{mn} - a_{jj}^{mn}$ représente les achats du secteur n de la région j qui doivent provenir des secteurs m à l'extérieur de cette région j et on calcule les coefficients d'input spatial ainsi:

$$b_{ij}^{mn} = t_{ij}^{m} \, (a_j^{mn} - a_{jj}^{mn}) \qquad (45)$$

$$\text{où} \quad t_{ij}^{m} = x_{ij}^{m} \Big/ \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{R} x_{ij}^{m}$$

Dans la mesure où on ajoute de l'information par rapport au modèle de Chenery et Moses, la méthode semble intéressante. Mais cette information n'est ordinairement pas disponible pour l'ensemble des régions d'un pays.

L'approche de Léontief et Strout (1963) se distingue des précédentes en reconnaissant l'influence de la distance sur les flux interrégionaux. L'hypothèse fondamentale de leur modèle est que les producteurs sont indifférents quant a la destination ultime de leurs produits, et que les utilisateurs sont indifférents quant à la provenance de leurs inputs. Ils introduisent le concept de pools régionaux d'offre par où passe tout ce qui a été produit dans une région, et de demande d'où est

extrait tout ce qui sera utilisé dans une région. L'intérêt de cette hypothèse est d'abord de rendre inutile toute distinction entre les besoins qui doivent être satisfaits localement et ceux qui le sont par des industries à l'extérieur de la région. De plus, cela permet de faire varier directement les flux originant d'une région en fonction de son niveau de production et les flux arrivant dans une région en fonction de son niveau de consommation.

Exprimée en flux plutôt qu'en coefficients, l'expression de type gravitaire qui permet la représentation des flux interrégionaux est de la forme suivante:

$$x_{ij}^{m} = \frac{x_{i.}^{m} \; x_{.j}^{m}}{x_{..}^{m}} \; Q_{ij}^{m} \tag{46}$$

où $x_{i.}^{m}$ est la somme de tout ce qui sort de la région i d'output du secteur m, $x_{.j}^{m}$ est la somme de tout ce qui arrive en j de produit de m, $x_{..}^{m}$ est le total des flux venant du secteur m entre toutes les régions, et Q_{ij}^{m} est une constante empirique qui réflète les coûts de transport entre i et j pour le produit de m. Quant aux relations input-output, elles sont exprimées sous la forme suivante:

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ji}^{m} = \sum_{n=1}^{M} \sum_{j=1}^{R} a_{i}^{mn} \; x_{ij}^{n} + y_{i}^{m} \tag{47}$$

où a_{i}^{mn} sont les coefficients techniques régionaux et y_{i}^{m} la demande finale pour le produit du secteur m dans la région i. Ceci assure que l'offre du produit du secteur m dans la région i est égale à la demande intermédiaire pour produire l'output des M industries dans la région i plus la demande finale pour ce produit en i.

Le point critique dans l'implantation de ce modèle est évidemment l'obtention des constantes Q_{ij}^m. Si les flux commerciaux sont disponibles pour une année de base, on peut les calculer directement à partir de l'équation (46). En l'absence de ces données, Léontief et Strout proposent une méthode d'estimation basée sur l'équation suivante:

$$Q_{ij}^m = (C_i^m + K_j^m)\, d_{ij}\, S_{ij}^m \qquad (48)$$

où C_i^m et K_j^m sont des paramètres dérivés statistiquement qui représentent la position relative de la région i comme fournisseur des autres régions et de la région j comme utilisateur de l'output des autres régions; d_{ij} est l'inverse de la distance entre i et j; S_{ij}^m est une variable binaire égale à 1 s'il y a des expéditions entre i et j et égale à zéro sinon.

Nous reviendrons à la section 6 de ce chapitre sur la reformulation sous forme de programme mathématique que Wilson (1970a) a fait du modèle de Léontief et Strout. Nous parlerons à ce moment des tentatives faites au cours des cinq dernières années d'utiliser le concept d'information pour traiter le problème des coefficients spatiaux d'input. Il ressort pour l'instant que la méthode d'estimation dépend jusqu'à un certain point des données et statistiques disponibles. Ce qui sera très significatif c'est d'examiner lesquelles de ces méthodes ont été les plus utilisées.

2.5.3 Applications

Les hypothèses de coefficients colonne fixes de Chenery-Moses et gravitaire de Léontief-Strout ont amené le plus grand nombre d'applications. On peut d'abord le constater en consultant les revues faites par Miernik (1972) et Riefler (1973) qui portent sur les vingt premières années d'efforts d'implantation des modèles input-output interrégionaux. Ces deux hypothèses ont également été privilégiées dans les applications faites après 1970 et sur lesquelles nous limiterons notre attention.

Le modèle MRIO (Multiregional Input-Output Model) implanté aux Etats-Unis par Polenske (1972) au début des années soixante-dix a marqué un tournant par son ampleur. Le modèle a été implanté à deux niveaux de désagrégation: un niveau détaillé avec 44 régions, correspondant à des états ou groupe d'états, et 79 industries, et un niveau agrégé avec 9 régions et 10 industries. Les coefficients techniques régionaux ont été obtenus des coefficients nationaux disponibles pour 1963. On a tenté de corriger ces coefficients pour tenir compte des différences dans la structure intersectorielle des états, à partir des données originales de l'enquête qui considèrent 370 industries. La détermination des flux interrégionaux a été examinée au niveau agrégé sous trois angles: coefficients colonne fixes, coefficients ligne fixes et modèle gravitaire de Léontief-Strout. L'hypothèse de Chenery-Moses donnant les meilleurs résultats, il fut alors décidé d'implanter le modèle à son niveau le plus détaillé en utilisant cette hypothèse.

Le modèle MRIO a certaines faiblesses, d'abord dues à l'utilisation de l'hypothèse de Chenery-Moses qui suppose la stabilité des parts commerciales dans chaque région. Les coefficients structurels régionaux ne sont par ailleurs pas obtenus à la suite d'une désagrégation complète des coefficients nationaux. Pourtant, il a largement démontré son utilité si on se fie aux nombreuses et très variées utilisations dont il a été l'objet (Bolton, 1981; Rietveld, 1981). Il a en particulier servi à construire des modèles de demande d'énergie (Polenske, 1974) et de détermination des prix (Polenske 1978). Ceci est sans doute dû à la grande cohérence et à la fiabilité de la banque de données, ce qui indique une relative stabilité des coefficients structurels sur une période de dix ou quinze ans. Il s'agit là d'une question empirique, et on ne doit certainement pas généraliser cette constatation qui n'a aucun fondement théorique.

Si on regarde ce qui a été fait au Canada, on constate que toutes les études input-output interrégionales font appel à des degrés divers à l'hypothèse de Chenery-Moses. Hartwick (1969) a été le pionnier avec son modèle de l'Est du Canada, suivi par la Division de l'analyse du développement économique du Ministère de l'expansion économique régionale (1976, 1977) et par Van Peeterssen et ses collaborateurs (Van Peeterssen, 1979; Courville et al., 1979). Les deux derniers modèles reposent sur les données input-output régionales de 1966, l'étude du MEER retenant la division par province alors que Van Peeterssen choisit une version très agrégée où il y a le Québec, l'Ontario et le reste du Canada. Ces données ont été compilées par la Division de l'Analyse structurelle de

Statistique Canada qui propose également son modèle input-output régional incorporant l'hypothèse de Chenery-Moses (Hoffman et Kent, 1976; Gaston, 1979). Toutes ces études tiennent évidemment compte de la structure rectangulaire du cadre comptable input-output canadien, où il y a une distinction entre industries et biens ou services. Nous reviendrons sur ce point dans la description des données ayant servies à l'implantation du modèle TOMM-2. Van Peeterssen a de plus tenté de rajeunir le tableau intersectoriel interrégional basé sur les données de 1966, à partir d'informations plus récentes sur la matrice canadienne de 1971, la matrice input-output québécoise de 1973 et les expéditions manufacturières de 1967 et 1974. Il faut ajouter que ces études avaient des motivations très différentes. Celle du MEER avait pour objectif de calculer les multiplicateurs classiques de l'analyse input-output afin d'en dégager certaines conclusions sur la répartition régionale de l'emploi. L'étude de Courville et al. voulait faire ressortir l'impact d'une région sur les autres, ce qu'on réalisa en mettant à zéro la demande finale pour les deux autres régions.

On peut maintenant jeter un coup d'oeil un peu plus rapide sur les modèles input-output interrégionaux qui ont été implantés dans divers pays. Snickars (1981) souligne le développement de trois modèles utilisant l'hypothèse de Chenery-Moses. Ce sont le modèle de Granberg (1981) pour les Pays-Bas, le modèle Nord-Sud pour l'Italie (Martellato, 1980) et le modèle MORSE (Lundqvist, 1981) pour la Suède. Ce dernier modèle est le plus intéressant puisqu'il est de type dynamique. Il considère en effet trois périodes quinquennales s'étalant de 1975 à 1990,

neuf secteurs et huit régions. Le modèle est un outil de planification qui se traduit par un programme mathématique dont la fonction objectif est composée de trois éléments: la consommation totale actualisée pour l'objectif économique, l'emploi dans toutes les régions et à toutes les périodes pour l'objectif de plein-emploi, et l'utilisation totale d'énergie pour l'objectif de conservation de l'énergie. Le modèle est opérationnel depuis 1980.

Regardons maintenant du côté des modèles ayant appliqué la méthodologie de Léontief-Strout. Précisons d'abord que ces derniers n'avaient implanté ce modèle avec des données américaines que pour quatre biens: charbon, ciment, huile de soja et formes en acier. Les travaux de Brodersohn (1965) pour l'Argentine et Polenske (1970) pour le Japon, marquent un point tournant puisqu'il s'agit des premières tentatives d'implanter ce modèle à l'ensemble des secteurs d'une économie. Disposant de données pour 1960 et 1963, Polenske put mesurer la capacité de prévision de cette approche. L'output total projeté par le modèle excéda l'output effectivement réalisé de 3,6%, l'erreur la plus importante étant une surestimation de 22,2% dans le secteur minier. Etant donné quelques modifications dans la façon d'assembler les données entre les deux périodes, les résultats apparurent alors suffisamment encourageants pour que Polenske (1972) tente d'appliquer le même modèle aux Etats-Unis. Des problèmes de résolution et la constatation que les résultats avec les données japonaises n'étaient pas significativement différentes avec l'hypothèse de Chenery-Moses, l'amenèrent cependant à adopter cette dernière hypothèse, comme on l'a vu précédemment.

Dans plusieurs pays, on continua cependant à s'intéresser à la formulation de Léontief-Strout comme en font foi les modèles de Gordon (1977) pour le Royaume-Uni, d'Oosterhaven(1981) pour les Pays-Bas et de Suzuki et al. (1978) pour le Japon. Ce qui va ouvrir de nouvelles voies au modèle de Léontief-Strout et aux modèles input-output interrégionaux en général, c'est leur jonction avec les concepts d'entropie et d'information utilisés dans les modèles d'interaction spatiale. C'est le sujet de la prochaine section.

2.6 Interaction spatiale et analyse input-output

2.6.1 Formulation entropique du modèle de Léontief-Strout

En 1967, Theil a établi un premier lien entre l'analyse input-output et la théorie de l'information. Il se sert de la mesure de gain d'information (19) pour établir un critère d'agrégation des industries. Il démontre également que la méthode RAS[1] de mise à jour des coefficients input-output peut être approximée sous la forme d'un problème de minimisation de l'information[2]. C'est cependant Wilson qui établit le premier un lien direct entre les modèles d'interaction spatial et les modèles input-output interrégionaux.

Wilson (1970a) exprime sous forme de programme mathématique le modèle input-output de Léontief-Strout. Sa formulation fait ressortir très clairement l'hypothèse de base de cette approche: la destination ultime des biens est indifférente aux producteurs et l'origine des biens

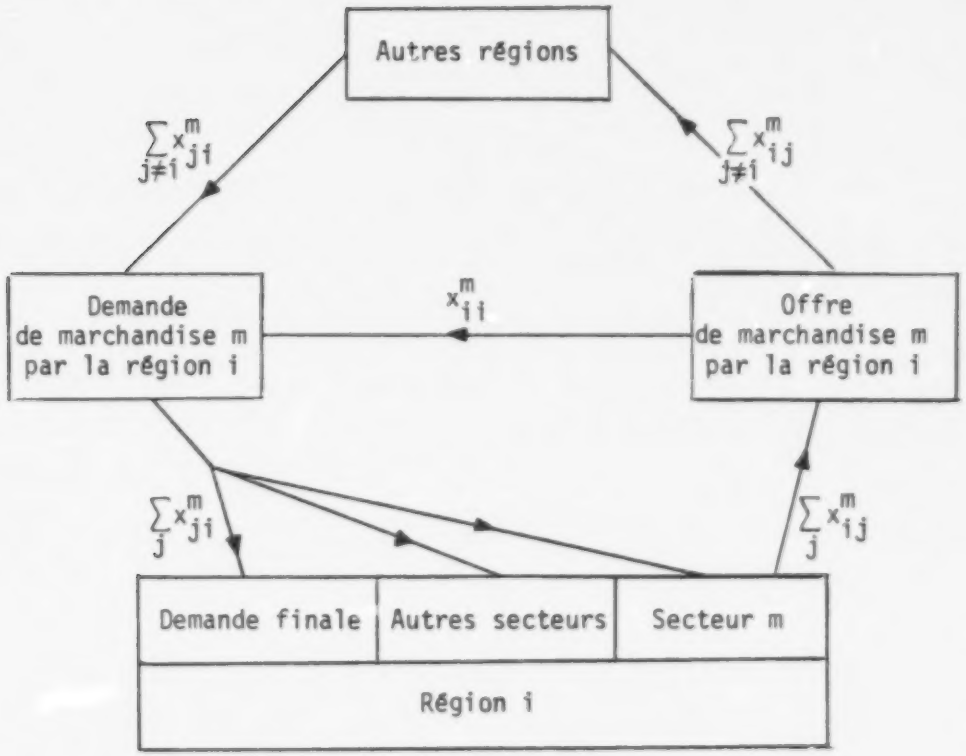
---

1. Développée par Bates et Bacharach (1963)

2. MacGill (1977) a défini sous quelles conditions les deux méthodes sont équivalentes de façon exacte.

est indifférente aux consommateurs. Le flux x_{ij}^m est alors la quantité d'output m produit dans la région i qui est envoyée au pool régional fictif de ce bien dans la région j.

FIGURE 1: Flux de la marchandise m dans le modèle de Léontief-Strout[1].



1. Tirée de Wilson (1970a, p. 53)

La figure 1 permet de visualiser les flux d'une marchandise m dans ce système. L'ensemble d'équations assurant les égalités comptables input-output est alors donné par (47), qui assurent que la quantité approvisionnant le pool régional fictif ($\sum_{j=1}^{R} x^m_{ji}$) sera égale à l'utilisation intermédiaire de m ($\sum_{n=1}^{M} a_i^{mn} \sum_{j=1}^{R} x^n_{ij}$) plus son utilisation finale en i (y_i^m). Ces contraintes input-output remplacent les contraintes sur l'offre (13) et la demande (14) du modèle gravitaire classique. Wilson ajoute la contrainte sur le coût total pour transporter chaque marchandise, soit

$$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x^m_{ij} \; c^m_{ij} = C^m \qquad m = 1,\ldots,M \tag{49}$$

où c^m_{ij} est le coût pour transporter une unité de m entre les régions i et j. Comme dans le modèle gravitaire classique, ce coût total de transport est donné de façon exogène, sauf qu'ici on le spécifie pour chaque marchandise prise séparément.

La solution est alors obtenue en maximisant par rapport à x^m_{ij} (i,j = 1,...,R; m = 1,...,M) l'entropie, soit

$$S = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} -x^m_{ij} \ln x^m_{ij} \tag{50}$$

sujet aux contraintes (47) et (49). La fonction de Lagrange de ce problème est

$$L(x,\nu,\mu) = S + \sum_{i=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \nu^m_i \left(y^m_i + \sum_{m=1}^{M} a_i^{mn} \sum_{j=1}^{R} x^n_{ij} - \sum_{j=1}^{R} x^m_{ji}\right)$$

$$+ \sum_{m=1}^{M} \mu^m \left(C^m - \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x^m_{ij} \; c^m_{ij}\right) \tag{51}$$

où ν_i^m et μ^m sont les multiplicateurs de Lagrange associés aux équations (47) et (49), respectivement. On obtient alors un estimé de x_{ij}^m en résolvant

$$\partial L \,/\, \partial x_{ij}^m = 0 \qquad (52)$$

et les contraintes (47) et (49).

De (52) on obtient la forme générale de cette solution, soit[1]

$$x_{ij}^m = \exp \left(\sum_{n=1}^{R} \nu_i^n \; a_i^{nm} - \nu_i^m - \mu^m \; c_{ij}^m \right) \qquad (53)$$

Ce modèle suppose la constance des relations input-output régionales, hypothèse générale à l'ensemble de la méthodologie input-output. Par contre, contrairement à la plupart des modèles interrégionaux, il n'impose pas la stabilité des flux commerciaux et permet la substitution interrégionale des inputs et la substitution des marchés régionaux pour les outputs. Il n'impose pas non plus la même structure commerciale d'approvisionnement pour tous les secteurs à l'intérieur d'une région.

2.6.2 Application

La version entropique d'un modèle gravitaire incluant les relations intersectorielles régionales, telle que proposée par Wilson, n'a pas été implantée. L'absence de données directes sur les coefficients input-output régionaux a_i^{mn} en a probablement limité l'utilisation, mais on a essayé de contourner la difficulté en obtenant directement les coefficients spatiaux d'input b_{ij}^{mn} ou en se servant des coefficients nationaux a^{mn}.

---

1. Où 1 a été absorbé par le multiplicateur ν_i^m, sans perte de généralité.

Snickars (1979) suit la première voie en énonçant un modèle basé sur la théorie de l'information où il inclut des contraintes de balance des flux destinés à la demande intermédiaire et à la demande finale. Ces contraintes ne contiennent pas d'information sur la structure input-output régional et on y supplée en introduisant dans la fonction objectif des valeurs a priori pour les flux intermédiaires et les flux de demande finale. Les flux a posteori x_{ij}^{mn} étant la solution du programme mathématique, on peut évidemment calculer les coefficients spatiaux d'input à partir de l'équation (38). Ce qui n'est pas clair, c'est la façon d'estimer ces flux a priori et on peut donc considérer que cette approche ne fait que déplacer le problème.

Les autres applications utilisent de façon uniforme les coefficients input-output nationaux dans toutes les régions. C'est le cas d'Anderson (1975) et d'Anderson et Persson (1979) pour la Suède, et de Karlqvist et al. (1978) pour l'Australie. Ces trois modèles répartissent les flux entre les régions grâce à une mesure d'entropie et en tenant compte des équations comptables imposées par la structure input-output, dans le contexte de modèles dynamiques de la croissance et du développement régional . C'est aussi dans ce contexte qu'Anderson et Karlqvist (1979) utilisent le concept d'information pour tenir compte des données disponibles pour une année de base. Ces modèles peuvent contenir, dans la fonction à optimiser ou sous forme de contraintes, des objectifs sur la croissance de l'emploi, de la production ou des investissements, sur l'utilisation des ressources non renouvelables, sur les niveaux tolérables de pollution, sur la balance commerciale, etc.

2.6.3 Le modèle TOMM

Le Canada disposant des matrices input-output régionales, Los (1980) peut proposer le modèle TOMM[1] qui est basé sur le concept d'information et qui explicite la structure intersectorielle régionale par le biais de contraintes. Le modèle est formulé sous la forme d'un problème convexe à contraintes linéaires. Il s'agit de déterminer les flux x_{ij}^m $(i,j = 1,\ldots,R\ ;\ m = 1,\ldots,M)$ qui résolvent le problème suivant:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^m x_{ij}^m - \gamma \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} x_{ij}^m \ln \frac{x_{ij}^m}{z_{ij}^m} \tag{54}$$

tel que:

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ji}^m = \sum_{n=1}^{M} a_i^{mn} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^n + y_i^m \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ m = 1,\ldots,M \end{matrix} \tag{55}$$

$$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} x_{ij}^k = T \tag{56}$$

$$x_{ij}^m \geq 0 \qquad \begin{matrix} i,j = 1,\ldots,R \\ m = 1,\ldots,M \end{matrix} \tag{57}$$

où, à la notation qu'on retrouvait dans le modèle (47), (49), (50) de Wilson, il faut ajouter τ_{ij}^m qui est une mesure du bénéfice brut obtenu en produisant un dollar d'output m dans la région i et en le vendant dans la région j, et z_{ij}^m qui est une valeur a priori observée pour le flux de l'output m entre les régions i et j.

---

1. Pour Transportation Oriented Multiregional Model.

Le premier terme de la fonction objectif représente une mesure des bénéfices bruts pour l'ensemble de l'économie. Le second terme de la fonction (54) est un terme d'information qui, d'une part, fait tendre les flux x_{ij}^m vers les flux observés z_{ij}^m, modélisant ainsi la force d'inertie qui existe dans l'économie, et d'autre part, adoucit le caractère tout-ou-rien d'une solution extrémale du modèle linéaire. γ est un paramètre de calibration dont la valeur pourra être obtenue à partir des flux observés et qui pondère l'importance relative des deux objectifs de la fonction (54). Les contraintes sur les relations input-output régionales sont identiques aux contraintes du modèle de Wilson.

Le modèle se différencie donc du modèle gravitaire de Wilson par la prise en compte des bénéfices bruts plutôt que des coûts de transport comme facteur normatif, et par l'addition d'information a priori sur les flux observés dans une mesure d'information qu'on cherche à minimiser plutôt que de maximiser l'entropie. La mesure de profit brut proposée est la différence entre le prix de vente d'une part et la valeur des inputs intermédiaires et des coûts de transport, d'autre part. Il est possible de calculer ces profits à partir des données input-output régionales qui servent au calcul des coefficients techniques des contraintes. Los propose également quelques raffinements à ce modèle général. Il distingue trois types de biens et services: les biens commercialisables qui se déplacent entre les provinces, les services non-commercialisables qui sont produits et consommées localement et les services de transport. La production de ces derniers services ne serait

pas obtenue par des coefficients d'input fixes, mais à partir des résultats d'un modèle de transport qui répartirait les flux interrégionaux de marchandises obtenus de TOMM sur l'ensemble du réseau multimodal canadien. La distinction entre biens commercialisables et services non-commercialisables permet d'exprimer le programme mathématique (54), (55), (56) et (57) uniquement en termes des flux de biens commercialisables, la production des services locaux leur étant linéairement reliée. Nous reviendrons en détail sur ce point dans la formulation du modèle TOMM-2 au chapitre 4.

Le problème dans cette formulation du modèle TOMM, c'est que la partie normative, dont le but est de maximiser le profit brut, est redondante. En effet, z_{ij}^m est une solution des contraintes en plus de satisfaire le critère de calibration pour γ. Le critère dit que le profit total résultant de la solution du programme mathématique ($\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^m x_{ij}^m$) doit être égal au profit observé calculé à partir des flux observés ($\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^m z_{ij}^m$).[2] Alors, la solution triviale de ce problème est de faire tendre γ vers l'infini, d'oublier la partie normative de maximisation du profit et d'avoir comme solution $x_{ij}^m = z_{ij}^m$ ($i,j = 1, \ldots,R$; $m = 1,\ldots,M$) si rien n'est modifié dans les contraintes. L'annexe 1 fait la preuve de ceci. Cela n'implique cependant pas que la partie normative n'explique en rien les flux interrégionaux. Le problème vient plutôt du fait que les flux observés z_{ij}^m contiennent à la fois les explications normatives et les effets d'inertie présents dans le système.

---

2. Critère de calibration que l'on doit à Hyman (1969).

En conclusion, on peut dire que des différentes approches méthodologiques, celle qui combine à la fois les aspects d'interaction spatiale et de relations intersectorielles input-output, répond le mieux aux attentes formulées dans l'introduction. Elle permet de prendre en compte les interactions tant entre les paires origine-destination qu'entre les demandes des différents biens. Le modèle TOMM de Los (1980), malgré le problème posé par sa fonction objectif, apparaît donc comme un bon point de départ pour la formulation d'un modèle opérationnel pour le Canada, d'autant plus qu'il utilise au maximum les données intersectorielles régionales disponibles pour 1974.

CHAPITRE 3

LES DONNEES INPUT-OUTPUT REGIONALES CANADIENNES

3.1 Le cadre comptable rectangulaire

Les tableaux d'entrées-sorties du Canada (Statistique Canada, 1979) adoptent le cadre comptable rectangulaire suggéré par les Nations-Unies (Nations-Unies, 1970). Cette approche fait une distinction entre secteurs productifs (ou industries) et biens ou services; un bien quelconque peut ainsi être produit par plusieurs industries et une industrie peut elle-même produire plusieurs biens ou services. Les entrées et les sorties des industries sont alors présentées dans des tableaux distincts et, comme il y a plus de biens et services que d'industries, les tableaux d'input-output sont rectangulaires et non carrés. Ceci permet de conserver tels quels les renseignements de base recueillis par voie de recensement et rend plus claire la signification de chaque chiffre dans ces tableaux.

La figure 2 illustre les différentes composantes du cadre comptable input-output du Canada. La matrice d'utilisation U porte sur la valeur des consommations intermédiaires: les lignes correspondent à la répartition par industrie des entrées d'un bien ou service et les colonnes, à la répartition par bien ou service des entrées d'une industrie. La matrice F porte sur la demande de chaque bien ou service par catégorie de demande finale. V est la matrice de la valeur des

FIGURE 2

Cadre comptable des tableaux d'entrées-sorties du Canada[1]

	Biens et services	Industries	Demande finale	Total
Biens et services		U	F	q
Industries	V			g
Inputs primaires		YI	YF	n
Total	q'	g'	e'	

Note: Les lettres majuscules représentent des matrices et les minuscules, des vecteurs.

1. Tiré de Statistique Canada (1979, p.12)

sorties de biens et services par industrie. Les matrices YI et YF donnent la valeur des entrées primaires (impôts indirects, subventions, salaire et traitements, revenus supplémentaires du travail, revenu net des entrepreneurs individuels, autres excédents d'exploitation) associés aux industries et aux catégories de la demande finale, respectivement. Le vecteur q donne la valeur des sorties totales de biens et services et le vecteur g, la valeur des sorties totales des industries. Finalement, il y a le vecteur e des entrées totales (biens et services plus entrées primaires) des catégories de la demande finale, et le vecteur n de la valeur des entrées primaires totales (industries et catégories de la demande finale).

Pour relier une demande finale donnée à l'output qu'il est nécessaire de produire compte tenu des effets directs et indirects, il n'est plus possible d'inverser la matrice des coefficients directs comme on le ferait dans un cadre comptable carré. Il faudra poser des hypothèses sur la répartition de la production entre les diverses industries et sur les fonctions de production des industries. Dans le modèle le plus simple proposé par Statistique Canada, on pose comme première hypothèse que toutes les industries conservent leur part de marché pour chaque produit quel que soit leur niveau de production. On a donc l'équation matricielle

$$g = D\,q \qquad (58)$$

où D, la matrice de "parts de marché" est obtenue en divisant chaque élément de la matrice V par la valeur totale des sorties pour le bien

ou service correspondant, soit

$$D = V \hat{q}^{-1} \qquad (59)^{1}$$

La deuxième hypothèse stipule que la valeur des entrées de chaque industrie représente une proportion fixe de la valeur des sorties totales de l'industrie et qu'elle ne varie donc pas si la composition de ces sorties change pour une industrie. On représente cette hypothèse par la formule

$$B = U \hat{g}^{-1} \qquad (60)$$

où la matrice de technologie industrielle B est obtenue en divisant chaque élément de la matrice U par la valeur des sorties totales de l'industrie appropriée. Ajoutons une troisième hypothèse qui relie les importations à la demande domestique totale, soit:

$$m = \hat{U}(B\,g + f) \qquad (61)$$

où $\hat{U}$ est la matrice diagonale des parts d'importation, m le vecteur des importations et f le vecteur sommant les catégories domestiques de la demande finale.

L'égalité comptable entre la production et les utilisations est alors donnée par l'équation matricielle

$$q = B\,g + f + x - m \qquad (62)$$

où x est le vecteur des exportations. Etant donné deux vecteurs f et x, l'output des industries qui tient compte des effets directs et indirects est obtenu par la formule suivante dérivée des équations

---

1. $\hat{q}$ est une matrice diagonale dont les éléments diagonaux sont ceux du vecteur q. Même chose pour $\hat{U}$ à l'équation (61) et $\hat{g}$ à l'équation (60).

(58) à (62)[1]:

$$g = \left[I - D(I - \hat{U})\, B\right]^{-1} \left[D\,(I - \hat{U})\, f + Dx\right] \qquad (63)$$

3.2 Les données utilisées

Le cadre comptable utilisé au niveau provincial (Gaston, 1979) est une simple désagrégation du cadre comptable rectangulaire national. Toutes les données représentées à la figure 2 sont disponibles au niveau de onze régions: les dix provinces et les deux territoires qui sont combinés pour former la onzième. A cela, il faut ajouter une matrice interprovinciale des flux pour chaque bien ou service.

Ces données ont d'abord été compilées pour 1966, puis pour 1974 et 1979. Pour cette dernière année, elles n'étaient cependant pas disponibles au moment de la réalisation de cette recherche et on a donc travaillé avec les données de 1974. Dans Gaston (1979), on retrouve certaines informations sur la compilation de ces données et sur les problèmes rencontrés lors de cette étape. Les matrices de flux, par exemple, ont été obtenues de diverses sources et il a fallu vérifier leur cohérence avec les tableaux d'utilisation et de production par province. Les données sur les flux interprovinciaux de services étant virtuellement inexistantes, on a tenté d'approximer ces matrices à partir d'informations pertinentes.

A leur niveau le plus désagrégé, Statistique Canada distingue 191 secteurs productifs, 136 catégories de la demande finale, 593 biens et services et 9 facteurs primaires. Nous avons travaillé à

---

1. Voir Dale et al.(1975) pour le détail de ce résultat.

un niveau plus agrégé, soit: huit régions (voir le tableau 1), 62 secteurs productifs (voir l'annexe 2), 10 catégories de la demande finale (voir l'annexe 3), 90 biens et services (voir l'annexe 4) et sept facteurs primaires (voir l'annexe 5). On indique dans les annexes la correspondance entre les deux niveaux d'agrégation. Notons que les données entrées-sorties de Statistique Canada sont elles-mêmes regroupées en trois niveaux d'agrégation différents, dont le niveau intermédiaire qui est le plus proche du nôtre. Si on a adopté un niveau d'agrégation différent c'est qu'on cherchait à se rapprocher le plus possible des catégories de biens de la banque de données du C.I.G.G.T. de l'Université Queen's (voir Graham, 1975). Cette banque de données a été obtenue à partir de l'analyse des connaissements ("waybills") pour les chemins de fer de classe 1 (C.N. et C.P.), pour le camionnage pour compte d'autrui ainsi que pour les flux maritimes. Ces données par mode de transport devant être utilisées subséquemment pour estimer les parts modales dans les déplacements de marchandises, il était important de travailler à un niveau d'agrégation compatible[1]. On retrouve dans l'annexe 4 la correspondance entre leur classification des marchandises et celle retenue ici.

---

1. Voir Picard et Paskievici (1985) et Hamelin, Los et Nguyen (1981).

TABLEAU 1

Les huit régions de TOMM-2

No	Province(s) qui la compose(nt)
1	Terre-Neuve
2	Nouvelle-Ecosse, Nouveau-Brunswick et Ile-du-Prince-Edouard
3	Québec
4	Ontario
5	Manitoba
6	Saskatchewan
7	Alberta
8	Colombie-Britannique, Territoires du Nord-Ouest et Yukon.

3.3 Le commerce interprovincial au Canada en 1974

Examinons à un niveau agrégé les données sur le commerce interprovincial et international fournies par Statistique Canada pour 1974. Nous ferons d'abord une distinction entre biens commercialisables et biens non-commercialisables ou services. Les premiers peuvent se déplacer d'une région à l'autre en empruntant le réseau de transport et ils peuvent également être importés ou exportés; ce sont des biens physiques comme les matières premières ou les produits manufacturiers. Les seconds, s'ils peuvent donner lieu à des flux interprovinciaux ou internationaux, ne se déplacent pas de façon tangible sur le réseau de

transport; ce sont les services comme la construction[1] ou les services personnels et professionnels. Le modèle TOMM-2 ayant pour objet de prédire les flux de biens commercialisables, regardons pour l'ensemble de ces biens, agrégés en terme de leur valeur totale, la nature des liens commerciaux qui relient les provinces canadiennes.

Le tableau 2 présente ces flux interprovinciaux, exprimés en millions de dollars, de même que les flux entre les provinces et les marchés étrangers pour 1974. C'est évidemment l'Ontario qui domine ce tableau tant au niveau interrégional et international, qu'au niveau origine et destination. Le Québec vient au second rang, suivi par les provinces de l'extrême ouest, Colombie-Britannique et Alberta. Les autres régions présentent des flux de biens assez marginaux dans l'ensemble, notamment du côté origine.

Les tableaux 3, 4, 5 et 6 sont obtenus à partir des données du tableau 2, les flux étant toujours exprimés en millions de dollars. Ainsi, le tableau 3 présente la distribution de la production de biens commercialisables par province, en dégageant la destination de cette production, soit les flux de la province vers elle-même, vers les autres provinces et vers l'étranger. On exprime également ces différentes destinations en pourcentage de la production totale des biens. Il ressort de ce tableau que les flux intrarégionaux sont plus importants que les flux interrégionaux, sauf dans le cas de la Saskatchewan qui conserve 26% de sa production et en expédie vers les autres provinces

---

1. Les services de construction proprement dits; ne pas confondre avec les matériaux de construction.

TABLEAU 2

Commerce interrégional et international, biens commercialisables, 1974 (millions de dollars)

de \ vers	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	Expor.	Prod. totale
T.-N.	493	12	77	15	0,3	0,2	0,2	0,2	872	1 470
Mar.	148	2 379	403	384	17	9	14	30	1 193	4 577
Qué.	245	781	15 271	4 677	302	218	489	609	4 739	27 331
Ont.	335	1 029	5 218	28 056	817	563	1 321	1 524	11 020	49 883
Man.	5	43	272	476	1 909	138	162	99	821	3 925
Sask.	3	41	174	529	230	1 186	221	52	2 117	4 553
Alb.	3	31	478	1 257	176	353	4 168	943	3 342	10 751
C.-B.	10	33	186	263	97	98	470	5 932	4 177	11 266
Importations	606	2 227	8 820	14 504	970	799	1 864	3 361		
Demande totale	1 848	6 576	30 899	50 161	4 518	3 364	8 709	12 550		

TABLEAU 3

Destination des biens commercialisables, en valeur (millions de dollars) et pourcentage de la production, 1974

	Province	Autres provinces	Etranger	Exportations totales	Production totale	Autres provinces ÷ étranger
T.-N.	493	105	872	977	1 470	0,12
%	33,5	7,1	59,3	66,5		
Mar.	2 379	1 005	1 193	2 198	4 577	0,84
%	52,0	22,0	26,1	48,0		
Qué.	15 271	7 321	4 739	12 060	27 331	1,54
%	55,9	26,8	17,3	44,1		
Ont.	28 056	10 807	11 020	21 827	49 883	0,98
%	56,2	21,7	22,1	43,8		
Man.	1 909	1 195	821	2 016	3 925	1,46
%	48,6	30,4	20,9	51,4		
Sask.	1 186	1 250	2 117	3 367	4 553	0,59
%	26,0	27,5	46,5	74,0		
Alb.	4 168	3 241	3 342	6 583	10 751	0,97
%	38,8	30,1	31,1	61,2		
C.-B.	5 932	1 157	4 177	5 334	11 266	0,28
%	52,7	10,3	37,1	47,3		
Total	59 394	26 081	28 281	54 362	113 756	0,92
%	52,2	22,9	24,9	47,8		

27,5%. Il en va de même pour les exportations vers l'étranger qui, règle générale, sont moins considérables que les flux interprovinciaux, à l'exception de Terre-Neuve et de la Saskatchewan, dont 59,3% et 46,5% de la production est expédié à l'extérieur du pays.

Considérées dans leur ensemble, les exportations totales de chaque province se situent majoritairement dans un intervalle allant de 45% à 65% de leur production totale de biens, l'Ontario et Terre-Neuve se situant légèrement en-deça et au-delà de cette fourchette avec 43,8% et 66,5% respectivement; seule la Saskatchewan se démarque du peloton en affichant un ratio d'exportations totales de près des trois quarts de sa production. Quant au rapport des exportations vers les autres provinces et vers l'étranger, on remarque des positions extrêmes: alors que le Québec et le Manitoba exportent chacun une fois et demi plus vers les autres provinces que vers l'extérieur, Terre-Neuve et la Colombie-Britannique sont beaucoup plus orientées vers les marchés étrangers (avec des ratios de 0,12 et 0,28, respectivement).

Le tableau 4 présente la distribution des biens commercialisables par province, en mettant l'accent sur l'origine de ces biens, soit de la province même, des autres provinces ou de l'étranger. D'abord, si on s'en tient aux biens d'origine canadienne, pour chaque province on constate qu'une plus forte proportion de la demande totale vient de la province même, sauf pour Terre-Neuve et la Saskatchewan. La même tendance s'observe avec les importations étrangères, mis à part encore une fois Terre-Neuve dont la demande totale provient à 32,8% de l'étranger,

TABLEAU 4

Provenance des biens commercialisables, en valeur (millions de dollars) et en pourcentage de la demande, 1974

	Province	Autres provinces	Etranger	Importations totales	Demande totale	Autres provinces ÷ étranger
T.-N.	493	749	606	1 355	1 848	1,24
%	26,7	40,5	32,8	73,3		
Mar.	2 379	1 970	2 227	4 197	6 576	0,88
%	36,2	30,0	33,9	63,8		
Qué.	15 271	6 808	8 820	15 628	30 899	0,77
%	49,4	22,0	28,5	50,6		
Ont.	28 056	7 601	14 504	22 105	50 161	0,52
%	55,9	15,2	28,9	44,1		
Man.	1 909	1 639	970	2 609	4 518	1,69
%	42,3	36,3	21,5	57,7		
Sask.	1 186	1 379	799	2 178	3 364	1,73
%	35,3	41,0	23,8	64,7		
Alb.	4 168	2 677	1 864	4 541	8 709	1,44
%	47,9	30,7	21,4	52,1		
C.-B.	5 932	3 257	3 361	6 618	12 550	0,97
%	47,3	26,0	26,8	52,7		
Total	59 394	26 081	33 151	59 232	118 626	0,79
%	50,1	22,0	27,9	49,9		

contre seulement 26,7% de Terre-Neuve même. Pour ce qui est des importations totales de chaque province, on voit que plus de 50% de la demande totale de biens commercialisables vient d'importations, allant même jusqu'à 73,3% dans le cas de Terre-Neuve; il n'y a que l'Ontario qui importe en proportion moindre, avec un ratio d'importation de 44,1% par rapport à sa demande totale.

Si on compare les importations originant des autres provinces par rapport à celles de l'étranger, les provinces affichent des positions très diverses. Celles dont les importations proviennent majoritairement des autres provinces sont Terre-Neuve et les provinces des Prairies, le ratio le plus élevé étant de 1,73 pour la Saskatchewan. Les provinces qui importent plus de l'étranger sont les Maritimes, le Québec et l'Ontario, cette dernière ayant le ratio le plus favorable à l'étranger, soit 0,52. Seule, la Colombie-Britannique importe à peu près autant des autres provinces que de l'étranger.

Le tableau 5 présente la balance commerciale entre les provinces et il en ressort un point très clairement: l'Ontario affiche un surplus avec chacune des provinces, le déséquilibre avec la Colombie-Britannique étant d'ailleurs le plus élevé entre deux provinces. A l'opposé de l'Ontario, Terre-Neuve ne montre aucun surplus dans ses échanges avec les autres provinces. Les Maritimes sont en situation déficitaire, sauf avec Terre-Neuve évidemment. Le Québec jouit au contraire de surplus avec toutes les provinces, mis à part l'Ontario. Quant aux provinces de l'Ouest, elles sont tantôt en déficit, tantôt en surplus.

TABLEAU 5

Balance commerciale nette entre les provinces, 1974 (millions de dollars)

de \ vers	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.
T.-N.	-	-136	-168	-320	-4,7	-2,8	-2,8	-9,8
Mar.	136	-	-378	-645	-26	-32	-17	-3
Qué.	168	378	-	-541	30	44	11	423
Ont.	320	645	541	-	341	34	64	1 261
Man.	4,7	26	-30	-341	-	-92	-14	2
Sask.	2,8	32	-44	-34	92	-	-132	-46
Alb.	2,8	17	-11	-64	14	132	-	473
C.-B.	9,8	3	-423	-1261	-2	46	-473	-

Finalement, le tableau 6 résume la situation de chaque province en donnant sa balance commerciale nette avec les autres provinces, avec l'étranger, au total, et exprime ce total en pourcentage du produit intérieur brut. Comme on doit s'y attendre, l'Ontario a le plus fort surplus (3 206 $ millions) avec les provinces, alors que la Colombie-Britannique a le plus important déficit (2 100 $ millions). Le Québec et l'Alberta ont des surplus comparables à ce chapitre, soit un peu plus de un demi milliard de dollars, alors que les autres provinces sont en déficit à des niveaux variables, allant de 129 $ millions pour la Saskatchewan à 965 $ millions pour les Maritimes.

Par ailleurs, la balance commerciale avec les marchés étrangers est déficitaire dans le cas du Québec, de l'Ontario, des Maritimes et du Manitoba; elle est au contraire positive pour Terre-Neuve, la Saskatchewan, l'Alberta et la Colombie-Britannique. C'est le Québec qui montre le plus gros déficit (plus de quatre milliards de dollars), tandis que l'Alberta arbore le surplus le plus élevé (1 478 $ millions). Quant à la balance commerciale nette totale, seule la Saskatchewan et l'Alberta figurent avec un surplus. Les autres provinces ont toutes une balance commerciale nette déficitaire, le Québec arrivant en tête de liste avec 3 568 millions de dollars. Lorsqu'elle est mise en pourcentage du PIB provincial, la balance commerciale nette donne toutefois des résultats légèrement différents. Bien que le Québec accusait en termes absolus le plus gros déficit net, ce sont les Maritimes et Terre-Neuve qui démontrent le plus grand déséquilibre commercial relativement à leur production. En contrepartie, le surplus de la Saskatchewan représente 19% de son PIB, l'Alberta suivant avec 13%.

TABLEAU 6

Balance commerciale nette des provinces, 1974 (millions de dollars)

	Avec les autres provinces	Avec l'étranger	Total	En pourcentage du P.I.B. de la province [1]
T.-N.	-644,1	266	-378,1	-20,0
Mar.	-965	-1 034	-1 999	-29,5
Qué.	513	-4 081	-3 568	-10,1
Ont.	3 206	-3 484	-278	-0,5
Man.	-444,3	-149	-593,3	-9,6
Sask.	-129,2	1 318	1 188,8	19,0
Alb.	563,8	1 478	2 041,8	13,0
C.-B.	-2 100,2	816	-1 284,2	-7,4

1. Produit intérieur brut tiré de Statistique Canada (1975d).

Ce portrait des flux de marchandises entre les provinces du Canada et avec les marchés étrangers donne une idée de l'importance des flux que le modèle veut modéliser. Les seuls flux domestiques (inter et intra-régionaux) représentent des flux de l'ordre de 85 milliards de dollars alors que les importations s'élèvent à 33,2 milliards et les exportations à 28,3 milliards de dollars.

CHAPITRE 4

LE MODELE ECONOMIQUE MULTIREGIONAL

TOMM-2

4.1 Notation et définition

Nous utiliserons la notation suivante:

$i,j = 1,\ldots,R$ représentent les régions du Canada;

$n = 1,\ldots,N-1$ représentent les secteurs productifs de l'économie;

$n = N$ représentent le secteur agrégé de la demande finale;

$k,h = 1,\ldots,K$ représentent les biens et les services;

$t = 1,\ldots,W$ représentent les facteurs primaires de production;

I_1 est l'ensemble des indices représentant les biens commercialisables[1];

I_2 est l'ensemble des indices représentant les biens non-commercialisables ou services produits et consommés localement.

a) Productions et flux dans l'économie

Q_i^k $(i = 1,\ldots,R\ ;\ k \in I_1)$ est la valeur de la production de bien commercialisable k dans la région i;

S_i^k $(i = 1,\ldots,R\ ;\ k \in I_2)$ est la valeur de la production de service non-commercialisable k dans la région i;

V_i^{nk} $(i = 1,\ldots,R\ ;\ k = 1,\ldots,K\ ;\ n = 1,\ldots,N-1)$ est la valeur de la production de bien k par le secteur n de la région i;

G_i^n $(i = 1,\ldots,R\ ;\ n = 1,\ldots,N-1)$ est la valeur de la production totale du secteur n dans la région i;

---

1. Tel que défini au chapitre précédent

U_j^{kn} ($j = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$; $n = 1,\ldots,N-1$) est la valeur des entrées de bien k utilisé par le secteur n de la région j;

M_j^k ($j = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$) est la valeur totale des importations internationales de bien k dans la région j;

X_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$) est la valeur totale des exportations internationales de bien k dans la région i;

Y_j^{nt} ($j = 1,\ldots,R$; $n = 1,\ldots,N$; $t = 1,\ldots,W$) est la valeur des entrées de facteur primaire t dans le secteur n de la région j;

F_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$) est la valeur de la demande finale totale de bien k dans la région i;

H_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$) est la valeur de la demande finale de bien k dans la région i qui est satisfaite par la production domestique canadienne;

x_{ij}^k ($i,j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) est le flux domestique (en valeurs) de bien commercialisable k entre la région productrice i et la région d'utilisation (finale ou intermédiaire) j;

z_{ij}^k ($i,j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) est une valeur observée pour le flux domestique de bien k entre les régions i et j;

$\tilde{z}_{ij}^k$ ($i,j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) est une valeur à priori pour le flux domestique de bien commercialisable k entre les régions i et j

T est la valeur totale des flux de biens commercialisables entre toutes les régions du Canada.

b) Coefficients structurels

b_i^{nk} ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$; $n = 1,\ldots,N-1$) est un coefficient technique régional en valeur qui représente le montant de bien k qui est utilisé comme input pour produire un dollar d'output dans le secteur n de la région i;

d_i^{nk}($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$; $n = 1,\ldots,N-1$) est la part de marché du secteur n dans la production de bien k dans la région i;

a_i^{kh}($i = 1,\ldots,R$; $k,h = 1,\ldots,K$) est un coefficient technique en valeur qui représente le montant de bien k qui est utilisé comme input dans la production de un dollar de bien h dans la région i;

w_i^{kh}($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$, $h = 1,\ldots,k$) est la fraction de bien k utilisée dans la production de bien h, qui est importée de l'étranger;

w_i^{kN}($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) est la fraction de bien k consommée dans la région i comme demande finale, qui est importée de l'étranger;

l_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$) est le coût en main-d'oeuvre pour produire un dollar de bien k dans la région i.

4.2 Correction des données

Les tableaux entrées-sorties provinciaux de Statistique-Canada (Gaston, 1979) nous permettent de disposer des données suivantes:

V_i^{nk}($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$; $n = 1,\ldots,N-1$)

U_j^{kn}($j = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$; $n = 1,\ldots,N-1$)

Y_j^{nt}($j = 1,\ldots,R$; $n = 1,\ldots,N$; $t = 1,\ldots,W$)

M_j^k ($j = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$)

X_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$)

z_{ij}^k($i,j = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$)

F_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k = 1,\ldots,K$)

Pour être compatibles entre elles, les données doivent satisfaire les conditions suivantes:

$$\sum_{n=1}^{N-1} V_i^{nk} = \sum_{j=1}^{R} z_{ij}^k + X_i^k \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k = 1,\ldots,K \end{matrix} \qquad (64)$$

$$\sum_{n=1}^{N-1} U_j^{kn} + F_j^k = \sum_{i=1}^{R} z_{ij}^k + M_j^k \qquad \begin{matrix} j = 1,\ldots,R \\ k = 1,\ldots,K \end{matrix} \qquad (65)$$

La première contrainte signifie que dans chaque région i la valeur de la production de bien k par les différents secteurs, est égale aux expéditions de ce bien vers toutes les régions du Canada (y compris vers la région i elle-même) et vers l'extérieur du pays. La deuxième contrainte signifie que dans chaque région j la valeur des utilisations de bien k par les différents secteurs, est égale à ce qui est reçu de toutes les régions du Canada (y compris de la région j elle-même) et de l'extérieur du pays.

En pratique, il existe toujours de légères divergences entre les données des tableaux d'entrées et de sorties et les données de flux interrégionaux et internationaux. Après analyse, il a toutefois été possible d'établir les faits suivants:

i) on ne dispose pas d'informations permettant de modifier les matrices de flux interrégionaux;

ii) la matrice des productions V correspond plutôt à une distribution de la production entre les secteurs;

iii) la catégorie stock de la demande finale est incomplète.

Nous avons donc appliqué les corrections suivantes aux données:

1) La matrice des productions V est corrigée proportionnellement à la somme des flux, soit:

$$V_i^{nk}(\text{corrigé}) = \frac{\sum_{j=1}^{R} z_{ij}^k + x_i^k}{\sum_{n=1}^{N-1} V_i^{nk}} V_i^{nk} \qquad (66)$$

2) On retranche ou ajoute à la catégorie stock de la demande finale la différence entre l'utilisation et les flux observés, soit:

$$U_j^{k,\text{stock}}(\text{corrigé}) = U_j^{k,\text{stock}} + \left(\sum_{i=1}^{R} z_{ij}^k + M_j^k - \sum_{n=1}^{N-1} U_j^{kn} - F_j^k\right) \qquad (67)$$

En aucun cas, les flux z_{ij}^k n'ont été modifiés. Les corrections qui ont été apportées n'ont changé que légèrement la matrice des sorties V, soit une variation de moins de 1% dans tous les cas. Les corrections de la catégorie stock de la demande finale sont plus importantes, mais restent inférieures à 10% dans tous les cas.

4.3 Les contraintes input-output régionales

4.3.1 Hypothèse sur les biens non-commercialisables

Le modèle TOMM-2 pose l'hypothèse que les biens non-commercialisables ou services, qui ne se déplacent pas physiquement sur le réseau de transport, sont produits et consommés à l'intérieur de chaque région. Les quatre raisons suivantes justifient cette décision:

i) on veut modéliser les flux de marchandises sur le réseau de transport et on n'est pas intéressé directement par les flux de services entre les provinces;

ii) les données sur les flux interrégionaux et internationaux de services sont sujettes à de nombreuses réserves, de l'aveu même de Statistique Canada (Gaston, 1979), en particulier pour les services de transport;

iii) cela permet de diminuer d'environ du quart la taille du problème mathématique non-linéaire qu'il faut résoudre;

iv) les résultats ne devraient pas en être trop affectés, puisque les services n'influencent qu'indirectement les flux de biens commercialisables.

Les données présentées au tableau 7 nous incitent à croire que cette hypothèse n'est pas trop restrictive. On y présente l'importance de chacun de ces 24 services et la proportion des flux qui sont effectivement produits et consommés à l'intérieur de chaque région.

TABLEAU 7

Flux de biens non-commercialisables ou services, 1974

	Flux totaux (millions de $)	Pourcentage de flux intrarégionaux	Pourcentage de flux non-compensés
200- Services aux. (ind. primaires)	1 456	100	0
201- Construction et réparation	4 297	100	0
202- Construction résidentielle	7 416	100	0
203- Construction non-résidentielle	13 967	100	0
210- Transport aérien	1 660	60,4	15,0
211- Autres moyens de transport	212	62,9	11,2
212- Services auxiliaires (transport)	408	58,9	15,7
213- Transport maritime	951	54,6	27,8
214- Services aux. (transp. maritime)	353	44,9	42,0
215- Transport ferroviaire	2 197	48,2	31,4
216- Transport par camions	3 322	52,6	26,5
217- Transport interurbain par bus	120	100	0
218- Transport urbain et taxis	585	100	0
219- Transport par pipe-line	565	61,5	15,0
220- Entreposage	241	63,0	12,0
221- Marges de transport	3 180	100	0
230- Radio, T.V., téléphone, télégraphe	3 224	93,8	1,6

TABLEAU 7 (suite)

Flux de biens non-commercialisables ou services, 1974

	Flux totaux (millions de $)	Pourcentage de flux intrarégionaux	Pourcentage de flux non-compensés
231- Services postaux	605	100	0
240- Electricité	2 784	94,6	2,9
241- Autres utilités (gaz, eau)	531	100	0
250- Marges de commerce (gros, détail)	19 749	82,5	5,2
261- Finance, assurance, immobilier	24 882	76,7	6,8
262- Services personnels et d'affaires	31 504	93,9	1,9
263- Services d'éducation et de santé	3 054	100	0
Total	127 263	87,3	4,6

Pour dix d'entre eux, il n'y a effectivement pas de flux entre les provinces, mais pour certains, en particulier pour les services de transport, la proportion de flux interrégionaux n'est pas négligeable. Or, ce qui est le plus significatif, c'est le pourcentage de flux interrégionaux qui ne sont pas compensés par des flux en sens inverse. Ainsi, pour les services financiers, d'assurances et de courtage immobilier (#261), il y a pour 1,1 milliard de dollars de flux entre le Québec et l'Ontario, mais en contrepartie, il y a pour 1,2 milliard de flux en sens inverse. Le déséquilibre commercial n'est en fait que de 151 millions de dollars et c'est ce chiffre qui est significatif et qui introduit une erreur dans le modèle, puisque nous ne modéliserons pas les flux de service et que nous tiendrons compte uniquement des effets indirects de la production de services sur la production des biens commercialisables. Or, comme l'indique le tableau 7, les flux interrégionaux de services qui ne sont pas compensés par des flux en sens inverse ne représentent au total que 4,6% de l'ensemble des flux de services. Quant aux échanges de services avec l'extérieur, ils sont aussi négligeables, la balance commerciale nette montrant un surplus de 2,8$ milliards, ce qui correspond à 2,2% de la production domestique de services.

4.3.2 Calcul des coefficients techniques et d'importation

Le problème consiste à déterminer les productions régionales de biens commercialisables Q_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$), de services S_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_2$) et les flux de biens commercialisables x_{ij}^k ($i,j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) qui respectent la structure intersectorielle

dans chacune des huit régions du Canada. On doit d'abord calculer pour chaque région la matrice carrée (i.e. bien par bien) des coefficients input-output en valeur qui rend compte de la quantité nécessaire de chacun des inputs k pour produire un dollar de bien ou service h. On exprime les coefficients dans l'espace des biens plutôt que dans l'espace des industries parce que ce sont les flux de marchandises dans le réseau de transport qui nous intéressent et non pas les flux interindustries hétérogènes.

Soit la matrice U de la valeur des consommations intermédiaires et la matrice V de la valeur des sorties. En sommant les éléments d'une ligne de la matrice V, on obtient la valeur des sorties totales de l'industrie correspondant à cette ligne, soit:

$$G_i^n = \sum_{h=1}^{K} V_i^{nh} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ n = 1,\ldots,N-1 \end{matrix} \tag{68}$$

En sommant les éléments d'une colonne de la matrice V, on obtient la valeur des sorties totales du bien ou service correspondant à cette colonne:

$$Q_i^h = \sum_{n=1}^{N-1} V_i^{nh} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ h \in I_1 \end{matrix} \tag{69}$$

$$S_i^h = \sum_{n=1}^{N-1} V_i^{nh} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ h \in I_2 \end{matrix} \tag{70}$$

On peut maintenant calculer les coefficients input-output b_i^{nk} d'utilisation de bien ou service k par le secteur n, soit:

$$b_i^{nk} = \frac{U_i^{kn}}{G_i^n} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ n = 1,\ldots,N-1 \end{matrix} \tag{71}$$

et les coefficients de part de marché du secteur n dans la production de h, soit:

$$d_i^{nh} = \frac{V_i^{nh}}{Q_i^h} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ n = 1,\ldots,N-1 \end{matrix} \qquad (72)$$

L'utilisation de bien ou service k pour produire un dollar d'output de bien ou service h dans la région i est alors donnée par:

$$a_i^{kh} = \sum_{n=1}^{N-1} b_i^{nk}\, d_i^{nh} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k,h = 1,\ldots,K \end{matrix} \qquad (73)$$

Le calcul des coefficients d'importation est basé sur l'hypothèse de Chenery-Moses qui stipule que tous les secteurs d'une région donnée se comportent comme la région dans son ensemble quant à la proportion des inputs qui sont importés, y compris le secteur de la demande finale. Alors[1]

$$w_i^{kh} = w_i^k = \frac{M_i^k}{\sum_{n=1}^{N-1} U_i^{kn} + F_i^k} \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ h = 1,\ldots,K \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (74)$$

$$w_i^{kN} = w_i^k = \frac{M_i^k}{\sum_{n=1}^{n-1} U_i^{kn} + F_i^k} \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (75)$$

Nous nous servons de ces coefficients pour déterminer la demande finale de bien commercialisable k dans la région i qui est satisfaite par la production domestique canadienne, soit:

$$H_i^k = F_i^k\,(1 - w_i^{kN}) \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (76)$$

---

1. Même si dans cette version du modèle $w_i^{kh} = w_i^{kN} = w_i^k$, la distinction entre ces coefficients est conservée pour tenir compte du cas plus général où les coefficients d'importation sont spécifiques à chaque secteur.

4.3.3 Les contraintes comptables input-output

La prise en compte de la structure input-output de chaque région implique le respect des équations comptables suivantes:

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ji}^{k} = \sum_{h \in I_1} (1 - w_i^{kh})\, a_i^{kh}\, Q_i^h + \sum_{k' \in I_2} (1 - w_i^{kk'})\, a_i^{kk'}\, S_i^{k'} + H_i^k \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (77)$$

$$S_i^k = \sum_{h \in I_1} a_i^{kh}\, Q_i^h + \sum_{h \in I_2} a_i^{kh}\, S_i^h + H_i^k \qquad \begin{matrix} k \in I_2 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (78)$$

$$Q_i^k = \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k + X_i^k \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (79)$$

Les contraintes (77) et (78) indiquent les différentes utilisations de biens commercialisables et non-commercialisables, respectivement: ils peuvent servir à produire d'autres biens ou services où à satisfaire la demande finale. Notons que dans la définition des flux x_{ij}^k, on n'inclut pas les exportations et c'est pourquoi on ne retrouve pas à droite de l'équation (77) les exportations X_i^k partant de cette région. Les exportations étant exogènes, il s'agit d'une question de définition; or, ici on considère x_{ij}^k comme des flux domestiques dont

la production et l'utilisation se font au Canada. Les contraintes (79) assurent pour leur part que les flux qui partent d'une région i pour le marché domestique ou pour le reste du monde, soient égaux à la production totale de cette région.

La production des services se faisant à l'intérieur même de la région qui les consomme, Los (1980) suggère de relier les productions de services de façon linéaire aux productions de biens commercialisables. Ceci permettra de réduire à une seule série de contraintes, les contraintes de type (77), (78) et (79), tout en permettant de réduire le nombre de variables du modèle mathématique. Pour y arriver, partitionnons la matrice A_i des coefficients techniques de chaque région en distinguant les biens commercialisables des services, soit:

$$A_i = \begin{array}{c} \\ \text{biens} \\ \text{services} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} \text{biens} & \text{services} \end{array} \\ \left[\begin{array}{c|c} A_i^{qq} & A_i^{qs} \\ \hline A_i^{sq} & A_i^{ss} \end{array}\right] \end{array} \qquad i = 1,\ldots,R$$

La sous-matrice A_i^{ss} contient les coefficients techniques input-output a_i^{kh} qui se rapportent uniquement aux échanges entre les services non-commercialisables ($k, h \in I_2$) dans la région i. Alors, l'équation (78) sur la production de services peut s'écrire sous la forme matricielle suivante:

$$\left[S_i^k\right] = \left[I - A_i^{ss}\right]^{-1} \left[\sum_{h \in I_1} a_i^{kh} \; Q_i^h + H_i^k\right] \qquad i = 1,\ldots,R \qquad (80)$$

Notons $e_i^{kk'}$ l'élément de la ligne k et de la colonne k' ($k, k' \in I_2$) de la matrice inverse E_i^{ss} de $\left[I - A_i^{ss}\right]$:

$$E_i^{ss} = \left[e_i^{kk'}\right] = \left[I - A_i^{ss}\right]^{-1} \qquad i = 1,\ldots,R \qquad (81)$$

Le coefficient $e_i^{kk'}$ indique alors la quantité de service k nécessaire pour satisfaire une augmentation d'une unité de la demande finale de service k', en tenant compte des effets directs et indirects au niveau des services seulement. Un élément S_i^k du vecteur (80) peut alors s'écrire de la façon suivante:

$$S_i^k = \sum_{k \in I_2} e_i^{kk'} \left[\sum_{h \in I_1} a_i^{k'h} \; Q_i^h + H_i^{k'}\right] \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_2 \end{matrix} \qquad (82)$$

$$S_i^k = \sum_{h \in I_1} \left(\sum_{k' \in I_2} e_i^{kk'} \; a_i^{k'h}\right) Q_i^h + \sum_{k' \in I_2} e_i^{kk'} \; H_i^{k'} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_2 \end{matrix} \qquad (83)$$

Considérons maintenant la sous-matrice A_i^{sq} des coefficients techniques restreints aux échanges entre les services non-commercialisables et les biens commercialisables dans la région i, soit les coefficients a_i^{kh} pour $k \in I_2$ et $h \in I_1$. Alors, définissons ξ_i^{kh} ($k \in I_2$; $h \in I_1$) un élément de la matrice résultant du produit des deux matrices E_i^{ss} et A_i^{sq}:

$$\left[\xi_i^{kh}\right] = E_i^{ss} \; A_i^{sq} \qquad (84)$$

Le coefficient ξ_i^{kh} peut être interprété comme étant la production de services non-commercialisables k induite par la production d'une unité supplémentaire de bien commercialisable h dans la région i. Il tient compte de tous les services qui entrent dans la fabrication de bien h et qui eux-mêmes utilisent du service k. L'équation (83) devient alors

$$S_i^k = \sum_{h \in I_1} \xi_i^{kh} Q_i^h + \sum_{k' \in I_2} e_i^{kk'} H_i^{k'} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_2 \end{matrix} \qquad (85)$$

La production régionale de services non-commercialisables est ainsi reliée de façon linéaire aux productions régionales de biens commercialisables. Une fois les Q_i^h ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$) connus, on peut trouver les S_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_2$), pour un vecteur donné de demande finale de services.

De plus, l'équation (79) indiquant que l'output régional de biens commercialisables est égal aux flux interrégionaux de ce bien et à ses exportations internationales, nous permet de relier la production régionale aux flux de biens. Si on solutionne un programme mathématique où les seules variables sont les flux interrégionaux x_{ij}^k ($i,j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$), on solutionne en même temps les productions régionales de biens commercialisables et de services non-commercialisables qui sont données par les équations (79) et (85) respectivement.

Il reste finalement à substituer Q_i^h et S_i^k dans (77) pour exprimer cette contrainte comptable input-output uniquement en termes des flux. Soit

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ji}^{k} = \sum_{h\in I_1} (1 - w_i^{kh})\, a_i^{kh} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^{h}$$

$$+ \sum_{h\in I_1} (1 - w_i^{kh})\, a_i^{kh}\, x_i^{h}$$

$$+ \sum_{k'\in I_2} (1 - w_i^{kk'})\, a_i^{kk'} \sum_{h\in I_1} \xi_i^{k'h} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^{h}$$

$$+ \sum_{k'\in I_2} (1 - w_i^{kk'})\, a_i^{kk'} \sum_{h\in I_1} \xi_i^{k'h}\, x_i^{h}$$

$$+ \sum_{k''\in I_2} \sum_{k'\in I_2} (1 - w_i^{kk'})\, a_i^{kk'}\, e_i^{k'k''}\, H_i^{k''}$$

$$+ H_i^{k} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k\in I_1 \end{matrix} \qquad (86)$$

On peut récrire (86) plus simplement sous la forme

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ji}^{k} = \sum_{h\in I_1} \sum_{j=1}^{R} \alpha_i^{kh}\, x_{ij}^{h} + \psi_i^{k} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k\in I_1 \end{matrix} \qquad (87)$$

où

$$\alpha_i^{kh} = (1 - w_i^{kh})\, a_i^{kh} + \sum_{k'\in I_2} (1 - w_i^{kk'})\, a_i^{kk'}\, \xi_i^{k'h}$$

$$\begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k,h\in I_1 \end{matrix} \qquad (88)$$

et

$$\psi_i^{k} = \sum_{h\in I_1} \alpha_i^{kh}\, x_i^{h}$$

$$+ \sum_{k'' \in I_2} \sum_{k' \in I_2} (1 - w_i^{kk'}) \, a_i^{kk'} \, e_i^{k'k''} \, H_i^{k''}$$

$$+ H_i^k \qquad i = 1,\ldots,R \quad k \in I_1 \qquad (89)$$

Dans l'équation comptable (87) sur les relations input-output régionales pour chaque bien commercialisable, on a dans le membre de gauche tout ce qui arrive dans la région i de bien k en provenance des différentes régions j, en incluant ce qui est produit dans la région i elle-même. Dans le membre de droite, on retrouve les différentes utilisations de bien commercialisable k dans la région i. Il y a d'abord une demande intermédiaire de bien k qui découle de la production de bien commercialisable h destinée au marché domestique canadien par le biais du coefficient technique α_i^{kh}, qui représente les besoins domestiques totaux de bien k par dollar d'output de bien h dans i, que cette demande soit directe ou induite par la production des services non-commercialisables nécessaires pour produire du bien commercialisable h. On retrouve ensuite ψ_i^k, la demande finale globale qui est composée de trois éléments: la production de bien commercialisable k générée par les exportations destinées à l'étranger des divers biens, la production de bien commercialisable k induite par la demande finale des services non-commercialisables et la demande finale proprement dite de bien commercialisable k dans la région i.

A partir des coefficients techniques régionaux a_i^{kh} ($i = 1,\ldots,R$; $k,h = 1,\ldots,k$) et des coefficients d'importation w_i^k ($= w_i^{kh} = w_i^{kN}$)

($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$), on a calculé les coefficients $e_i^{kk'}$ ($i = 1,\ldots,R$; $k,k' \in I_2$) et ξ_i^{kh} ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_2$; $h \in I_1$) qui nous ont permis d'obtenir les coefficients techniques régionaux qui endogénisent la production de services, soit les α_i^{kh} ($i = 1,\ldots,R$; k h I_1), et les demandes finales globales de biens commercialisables qui endogénisent la demande finale de services, soit les ψ_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$).
Il faut noter qu'avant d'inverser la matrice des coefficients structurels restreinte aux échanges entre services, pour obtenir les coefficients $e_i^{kk'}$, on a dû faire des corrections dans les entrées des services 213, 214, 216 et 220 de Terre-Neuve, et 221 de Colombie-Britannique. La valeur des inputs nécessaires pour produire un dollar d'output de ces services étant supérieur à un, on a réajusté ces coefficients de façon à ce que la somme soit égale à un.

4.4 Formulation du modèle

Le modèle TOMM-2 est formulé sous la forme du programme mathématique non-linéaire suivant:

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k \ln \frac{x_{ij}^k}{\tilde{z}_{ij}^k} \tag{90}$$

assujetti aux contraintes (87) et aux contraintes suivantes:

$$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k = T \tag{91}$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \qquad i,j = 1,\ldots,R \quad k \in I_1 \tag{92}$$

Il est donc formulé uniquement en termes des flux interrégionaux de biens commercialisables. La fonction objectif est fondée sur le concept d'information et assure que la solution s'éloignera le moins possible des flux interrégionaux a priori $\tilde{z}_{ij}^{k}$, tout en tenant compte des contraintes comptables input-output régionales (87). La contrainte (91) fixe la somme totale des flux de biens commercialisables, en accord avec les fondements probabilistes de la mesure d'information. Ceci montre que le modèle répartit l'activité économique globale du Canada entre les régions, plutôt qu'il ne la fixe de façon endogène.

Contrairement au modèle TOMM de Los (1980), la fonction objectif ne contient pas de partie normative basée sur la maximisation d'une mesure de profit brut, ni même sur la minimisation des coûts de transport. On ne doit donc pas calibrer le modèle à ce niveau, afin de pondérer l'importance relative des parties normative et descriptive de la fonction objectif. Pourtant, tout en considérant les structures input-output régionales et les facteurs d'inertie dans l'économie (institutionnels, historiques, liens interentreprises, politiques protectionnistes des provinces, etc.), il apparaît important de conserver l'explication normative dans la détermination des flux interrégionaux. C'est ce que fait le modèle, en l'introduisant dans l'explication des flux a priori $\tilde{z}_{ij}^{k}$ qui sont estimés à partir d'une régression des flux observés z_{ij}^{k} sur diverses variables socio-économiques. Pour chaque bien commercialisable, on fait une régression différente avec les flux observés pour les 64 paires origine-destination comme variable dépendante. Au chapitre 6, on reviendra sur la

spécification de ces régressions. Précisons pour l'instant que les variables explicatives retenues sont les coûts de transport entre les régions i et j, la production dans la région d'origine i et la consommation dans la région de destination j. Les deux derniers types de variables représentent dans les régressions une partie de l'inertie existant dans le système économique, alors que la variable de coût de transport représente l'aspect normatif identifié par le modèle.

En faisant une régression différente pour chaque bien, on raffine le modèle par rapport à la formulation de Los (1980) où il n'y avait qu'un paramètre à calibrer. On contourne également la difficulté posée par l'estimation des coûts de transport globaux par marchandises dans le modèle de Wilson, et par la prise en compte simultanée des contraintes (49) sur les coûts de transport par marchandises. La sensibilité de chaque bien aux coûts de transport pouvant être différente, il est essentiel de pouvoir estimer un paramètre pour chacun. Le modèle permet même une spécification différente et la prise en compte de variables explicatives particulières aux différents biens. La formulation est donc très générale et elle permet de reprendre les flux observés comme valeur a priori si on veut simuler l'impact de changements dans la demande finale ou les coefficients techniques régionaux. De plus, le modèle étant sous la forme d'un programme mathématique, il est possible de considérer toute contrainte qui pourrait s'avérer justifiable. La capacité de production peut, par exemple, limiter les solutions sous la forme des contraintes suivantes:

$$\sum_{J=1}^{R} x_{ij}^{k} + X_{i}^{k} \leq C_{i}^{k} \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (93)$$

où C_i^k est la capacité de produire du bien k dans la région i. On peut aussi penser à des contraintes sur la disponibilité des ressources humaines, naturelles ou énergétiques, dont l'utilisation serait reliée au moyen de coefficients à la production des différents biens et services.

4.5 Justification du modèle et conditions d'optimalité

Au chapitre 2, on a fait état des questions soulevées par la justification théorique des modèles d'interaction spatiale et par leur performance plus ou moins probante avec des données empiriques. Si le modèle demeure tributaire de l'explication statistique du concept d'information, il va plus loin en incorporant la structure intersectorielle différenciée de chaque région et la possibilité de considérer les aspects institutionnels. Ceci est en accord avec les critiques selon lesquelles l'explication des flux interrégionaux ne peut se ramener uniquement aux coûts de transport.

En s'inspirant de Snickars et Weibull (1977) et Los (1979), il est également possible de pousser un peu plus loin la justification théorique de l'approche en insistant sur la distinction entre flux a priori et flux a posteriori. Les différents facteurs économiques peuvent être considérés au niveau de l'estimation des flux a priori qui sont en quelque sorte les flux "ex ante", voulus par les agents économiques, mais qui ne respectent pas la structure industrielle des

régions. Les agents économiques qui sont à la source de la demande de transport de marchandises vont donc devoir s'ajuster, mais en s'éloignant le moins possible des flux a priori s'ils continuent d'agir rationnellement, ce qui est exactement le sens de la mesure d'information qu'on cherche à minimiser. La formulation proposée est donc très générale et on peut imaginer son extension dans d'autres applications, comme on peut imaginer le remplacement du modèle d'estimation proposé ici pour obtenir les flux a priori.

L'examen des conditions d'optimalité du problème permet une interprétation complémentaire du modèle qui montre bien son caractère général. Les flux a priori étant calculés, le programme mathématique (87)-(90)-(91)-(92) consiste à minimiser une fonction strictement convexe sujette à des contraintes d'égalité linéaires. Les conditions de Kuhn-Tucker sont alors nécessaires et suffisantes pour obtenir un optimum global. En définissant par q_i^k et v les variables duales associées respectivement aux contraintes (87) et (91), on obtient la fonction de Lagrange suivante:

$$L(x,q,v) = \sum_{i=1}^{\underline{R}} \sum_{j=1}^{\underline{R}} \sum_{k\in I_1}^{\underline{R}} x_{ij}^k \ln \frac{x_{ij}^k}{\tilde{z}_{ij}^k}$$

$$+ q_i^k \left(\sum_{j=1}^{\underline{R}} x_{ji}^k - \sum_{j=1}^{\underline{R}} \sum_{h\in I_1} \alpha_i^{kh} x_{ij}^h - \psi_i^k \right)$$

$$+ v \left(\sum_{i=1}^{\underline{R}} \sum_{j=1}^{\underline{R}} \sum_{k\in I_1} x_{ij}^k - T \right) \qquad (94)$$

Alors

$$\nabla^k_{ij} L = \ln \frac{x^k_{ij}}{\tilde{z}^k_{ij}} + 1 + q^k_i - \sum_{h \in I_1} q^h_i \alpha^{hk}_i + v = 0$$

$$i,j = 1,\ldots,R \qquad k \in I_1 \qquad (95)$$

La solution du programme est donc de la forme

$$x^k_{ij} = \tilde{z}^k_{ij} \exp(-q^k_j) \exp\left(\sum_{h \in I_1} q^h_i \alpha^{hk}_i\right) \exp(-1 - v)$$

$$i,j = 1,\ldots,R \qquad k \in I_1 \qquad (96)$$

où $\tilde{z}^k_{ij}$ est le flux a priori estimé. Le modèle gravitaire input-output de Wilson (1970) est donc le cas particulier où

$$\tilde{z}^k_{ij} = \exp(-\mu^k c^k_{ij}) \qquad (97),$$

ce qu'on peut vérifier à l'équation (53). Le modèle TOMM-2 peut donc être vu comme une généralisation du modèle de Wilson inspiré de Léontief-Strout, qui incorpore d'autres variables que le coût de transport dans l'explication du flux estimé a priori. Ajoutons que le flux a posteriori sera nul lorsque le flux a priori l'est, et qu'il peut être interprété comme étant un ajustement du flux a priori afin de tenir compte des contraintes input-output. Ils ne sera par ailleurs jamais négatif , d'où la redondance des contraintes de non-négativité (92).

CHAPITRE 5

RESOLUTION DU PROGRAMME MATHEMATIQUE

5.1 Caractéristiques du programme mathématique

Nous allons traiter ici de la résolution du programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92), les flux a priori $\tilde{z}^k_{ij}$ $(i,j = 1,\ldots,R\ ;\ k \in I_1)$ étant connus. Le chapitre suivant traite de cette question des flux a priori, mais il est d'abord important de s'assurer qu'on puisse résoudre un problème non-linéaire d'aussi grande taille.

Contrairement au modèle d'interaction spatiale de Wilson ou au modèle TOMM de Los, la résolution du programme mathématique n'implique pas de calibration ou d'estimation par rapport à une variable normative comme le coût de transport. L'estimation des coefficients reliés au coût de transport, à la force d'attraction de la région de destination et à la force de répulsion de la région d'origine, se fait dans une première étape au niveau du modèle d'estimation des flux a priori. L'approche est donc séquentielle et dans cette deuxième étape, il s'agit de résoudre le programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92), qui assure que les contraintes comptables input-output et la contrainte sur les flux totaux sont respectées, tout en demeurant le plus près possible des flux a priori qui ont été obtenus précédemment. Cette procédure se rapproche dans une certaine mesure d'un processus de prise de décision. Ex ante, les agents économiques prennent des décisions qui tiennent compte des coûts

de transport, des coûts de production et de certaines variables institutionnelles (ex.: liens interentreprises, localisation des marchés). Ex post, ils doivent se plier à la structure technique de production dans chacune des régions et aux capacités de production de ces régions, si on ajoute les contraintes de type (93) au programme mathématique. Rappelons qu'on peut visualiser la logique économique du modèle en examinant la forme générale de la solution, l'équation (96), obtenue de la dérivée de la fonction de Lagrange (94). Les flux a posteriori x_{ij}^k sont nuls lorsque le flux a priori $\tilde{z}_{ij}^k$ est nul, et les flux non nuls peuvent être vus comme des modifications des flux a priori, de façon à ce que les contraintes technologiques régionales et la contrainte sur le flux total soient respectées.

L'inclusion des structures input-output dans les contraintes rend le problème non séparable par bien, contrairement au modèle d'interaction spatiale classique. Ceci augmente considérablement sa taille, puisqu'avec 64 paires origine-destination, on compte 4 096 variables. Il y a par ailleurs 512 contraintes comptables input-output, pour les huit régions et les 64 biens commercialisables. On peut ajouter à cela une contrainte sur le total des flux et, dans certaines applications, des contraintes sur la production ou l'offre dans chaque région et pour chaque bien.

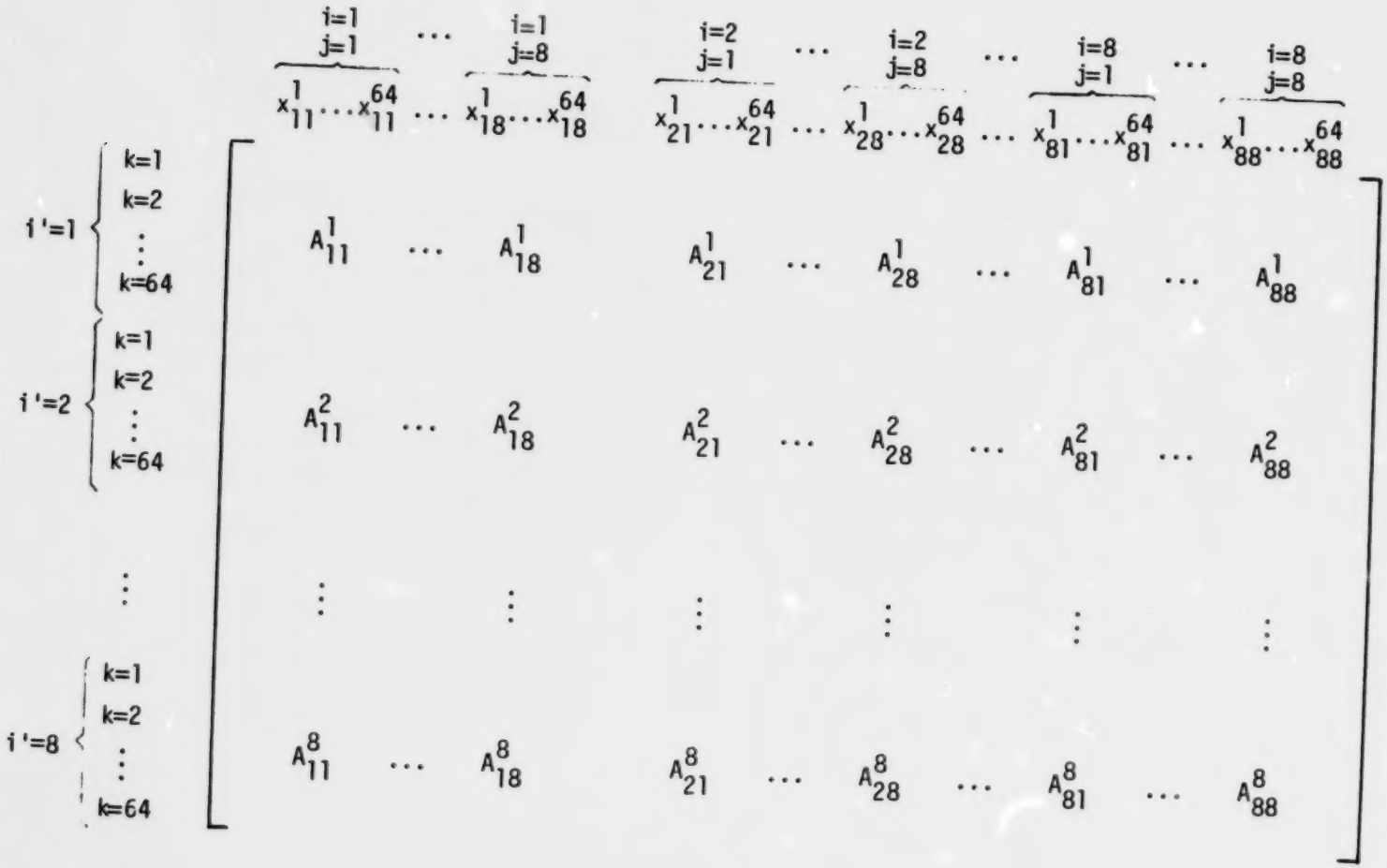
Examinons plus en détail la structure des contraintes comptables input-output régionales (87), qui sont au coeur du modèle et qui posent un problème particulier dans la mesure où leurs coefficients ne sont pas nécessairement égaux à zéro ou un. Ceci est évidemment différent du modèle

d'interaction spatiale classique avec des contraintes sur la production (équation (13)) et l'attraction (équation (14)) dans chaque région puisqu'alors, selon qu'une variable se trouve ou non dans les équations (13) et (14), on y associe un coefficient de 1 ou de 0 (les deux seules valeurs possibles). Cette particularité des contraintes (87) a aussi un impact sur la forme générale de la solution, d'où l'apparition du terme $\exp\left(\sum_{h \leq I_1} q_i^h \alpha_i^{hk}\right)$ dans l'équation (96), alors que dans un modèle d'interaction spatiale classique, ce terme est absent puisque dans chaque contrainte on ne retrouve que des variables de flux pour un bien k donné. On voit ainsi que ce dernier modèle est séparable par bien, ce qui n'est pas le cas du modèle TOMM-2 qui, en incorporant les liaisons intersectorielles, doit être résolu pour tous les biens simultanément.

Appelons la matrice B, la matrice des coefficients de ces contraintes, qui compte donc 2 097 152 éléments. Classons les contraintes et les variables par région, selon l'ordre donné à la figure 3, où on énumère d'abord toutes les contraintes pour la première région, la deuxième, etc., et où les variables sont regroupées par région d'origine i vers les huit régions. La matrice B peut être divisée en 512 sous-matrices carrées $A_{ij}^{i'}$ de dimension 64 par 64 (étant donné qu'il y a 64 biens commercialisables), où i correspond à la région d'origine, j à la région de destination et i' au sous-ensemble de contraintes reliées à la région i'.

FIGURE 3

Matrice des coefficients des contraintes input-output



Définissons maintenant $A^{i'}$, la matrice des coefficients input-output pour la région i', soit

$$A^{i'} = \begin{bmatrix} \alpha_{i'}^{1,1} & \alpha_{i'}^{1,2} & \cdots & \alpha_{i'}^{1,64} \\ \alpha_{i'}^{2,1} & \alpha_{i'}^{2,2} & \cdots & \alpha_{i'}^{2,64} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \alpha_{i'}^{64,1} & \alpha_{i'}^{64,2} & \cdots & \alpha_{i'}^{64,64} \end{bmatrix} \quad i' = 1,\ldots,R$$

où $\alpha_{i'}^{kh}$ indique les besoins domestiques totaux de bien k dans la région i' pour produire une unité de bien h.

Les sous-matrices $A_{ij}^{i'}$ peuvent alors prendre quatre formes générales, soit

$$A_{ij}^{i'} = I - A^{i'} \qquad \text{si } i' = i \text{ et } i' = j$$

$$A_{ij}^{i'} = - A^{i'} \qquad \text{si } i' = i \text{ et } i' \neq j$$

$$A_{ij}^{i'} = I \qquad \text{si } i' \neq i \text{ et } i' = j$$

$$A_{ij}^{i'} = 0 \qquad \text{si } i' \neq i \text{ et } i' \neq j$$

où I est la matrice identité d'ordre 64 et 0 est une matrice carrée nulle d'ordre 64.

La première ligne de sous-matrices $A^{i'}_{ij}$ est donc composée de:

- la matrice $(I-A^1)$
- sept matrices $-A^1$
- sept fois la matrice identité suivie de sept matrices nulles.

Sur la deuxième ligne de sous-matrices, on a, dans l'ordre:

- une matrice nulle
- une matrice identité
- six matrices nulles
- la matrice $-A^2$
- la matrice $(I-A^2)$
- six matrices $-A^2$
- six fois la matrice nulle suivie d'une matrice identité et de six matrices nulles.

Sur chaque ligne de la matrice B, on a donc 519 éléments non-nuls pour un total de 265 728 éléments non-nuls dans l'ensemble de la matrice. La matrice des coefficients est donc relativement dense avec 12,7% de coefficients différents de zéro, ceux-ci pouvant prendre n'importe quelle valeur entre moins un et plus un, les coefficients α^{kh}_i ne pouvant être plus grands que l'unité puisqu'il s'agit de coefficients input-output en valeurs qui donnent la valeur d'un input intermédiaire dans la production d'un dollar d'output donné.

5.2 Une approche duale

Du point de vue théorique, la minimisation d'une fonction strictement convexe (et dérivable partout pour des flux $x^k_{ij} > 0$) assujettie à

des contraintes linéaires ne pose aucun problème. En pratique, le très grand nombre de variables et de contraintes du modèle dépasse les capacités de calculs des algorithmes standards développés pour les programmes convexes.

Le fait que les variables primales du problème puissent être exprimées en fonction des variables duales seulement (voir l'équation (96)), nous permet d'adopter une approche de type dual. On parle d'approche duale dans le sens où l'on résout directement les conditions d'optimalité du problème primal en n'agissant exclusivement que sur les variables duales. Il apparaît de prime abord plus efficace d'adopter une telle approche dans la mesure où le nombre de contraintes, et donc le nombre de variables duales, est inférieur au nombre de variables primales.

L'avantage principal de l'approche duale est la possibilité d'utiliser une procédure de calcul dans laquelle on ne considère qu'une contrainte à la fois ("row generation technique"). Le désavantage cependant, est que l'on obtient la réalisabilité du problème primal qu'à la fin de la procédure de calcul.

Considérons le problème sous la forme générale suivante:

$$(P) \quad \text{Min} \sum_{j=1}^{p} x_j \, (\ln x_j/y_j - 1) \tag{98}$$

tel que

$$\sum_{j=1}^{p} a_{ij} \, x_j = b_i \qquad i = 1,\ldots,m \tag{99}$$

$$x_j \geq 0 \qquad j = 1,\ldots,p$$

où $b_i > 0$ et $y_i > 0$, pour tout $i = 1,\ldots,m$. Définissons λ_i la variable duale associée à la contrainte i ($i = 1,\ldots,m$).

De la dérivée de la fonction de Lagrange, on tire l'expression

$$x_j = y_j \exp\left(- \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \, a_{ij}\right) \qquad j = 1,\ldots,p \qquad (100)$$

Posant $u_i = \exp(-\lambda_i)$ on obtient

$$x_j = y_j \prod_{i=1}^{m} u_i^{a_{ij}} \qquad j = 1,\ldots,p \qquad (101)$$

Le problème (P) ci-dessus est donc équivalent au problème suivant: trouver les u_i ($i = 1,\ldots,m$) satisfaisant les équations

$$(D) \quad \sum_{j=1}^{p} a_{ij}\left(y_j \prod_{r=1}^{m} u_r^{a_{rj}}\right) = b_i \qquad i = 1,\ldots,m \qquad (102)$$

Dans le cas particulier où les a_{ij} prennent des valeurs 0 ou 1 uniquement, on peut résoudre le problème (D) à l'aide d'une procédure comprenant les calculs suivants:

Initialisation: $u_i = 1$, $i = 1,\ldots,m$

$i = 1$

Phase générale d'ajustement

$$u_i = \frac{b_i}{\sum_{j=1}^{p} a_{ij} \, y_j \prod_{r \neq i} u_r^{a_{rj}}} \qquad (103)$$

puis $i = (i \text{ modulo } m) + 1$

Dans le cas où les contraintes (99) représentent des contraintes sur les totaux marginaux d'une matrice, l'ajustement présenté ci-dessus devient la méthode de balancement de Kruithof, que nous allons adapter à notre problème. L'équation (103) a été obtenue de (102) en isolant u_i, ce qui est simplifié ici puisque les coefficients a_{ij} rattachés à u_i prennent des valeurs de 0 ou 1.

5.3 Une généralisation de la méthode de balancement

La méthode de balancement a été développée lorsqu'on a affaire à une matrice qui est contrainte de respecter des totaux marginaux pour chaque ligne et chaque colonne. C'est d'abord le cas des modèles d'interaction spatiale classique dont on a déjà parlé. On rencontre aussi ce problème dans la méthode RAS de mise à jour de matrices input-output, que Bacharach (1970) appelle le "problème biproportionnel de matrices contraintes". En statistique, on le retrouve dans l'estimation des tables de contingence (voir Ireland et Kullback, 1968).

La méthode générale pour résoudre ce problème des totaux marginaux a été proposée par Kruithof (1937) ou, selon Bregman (1967), par Shellkhovskii dans les années trente. Chaque ligne et chaque colonne de la matrice R par R doit respecter des contraintes du type

$$\sum_{j=1}^{R} x_{ij} = O_i \qquad i = 1,\ldots,R \quad \text{pour les lignes,}$$

$$\text{et} \quad \sum_{i=1}^{R} x_{ij} = D_j \qquad j = 1,\ldots,R \quad \text{pour les colonnes.}$$

A chaque itération, on balance une seule contrainte, et ceci de façon cyclique jusqu'au moment où toutes les contraintes sont simultanément satisfaites. Le facteur de correction pour les contraintes sur les lignes est

$$\delta_i = \frac{O_i}{\sum_{j=1}^{R} x_{ij}} \tag{104}$$

et pour les contraintes sur les colonnes:

$$\delta_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^{R} x_{ij}} \qquad (105)$$

Alors, n indiquant la nième itération, on met à jour les variables de la façon suivante:

$$\begin{aligned} (x_{ij})^{n+1/2} &= (x_{ij})^n \cdot \delta_i \qquad i = 1,\ldots,R \\ (x_{ij})^{n+1} &= (x_{ij})^{n+\frac{1}{2}} \cdot \delta_j \qquad j = 1,\ldots,R \end{aligned} \qquad (106)$$

Bregman (1967) a montré que l'algorithme converge vers la solution optimale unique.

Il reste à appliquer la méthode de balancement au cas plus complexe où les coefficients des contraintes ne sont pas seulement zéro ou un. Le premier pas dans ce sens est accompli par Gordon, Bender et Herman (1970) avec leur méthode de reconstitution d'image MART[1], qui fonctionne pour des coefficients a_{ij} tel que $0 \leq a_{ij} \leq 1$. Revenons au problème (P) où il y a $j = 1,\ldots,p$ variables et $i = 1,\ldots,m$ contraintes. Selon cette méthode, l'ajustement de la contrainte i se fait en calculant un facteur de correction.

$$\delta_i = b_i \,/ \sum_{j=1}^{p} a_{ij}(x_j)^n \qquad (107)$$

puis en mettant à jour les variables de la façon suivante:

$$(x_j)^{n+1} = \delta_i{}^{a_{ij}}(x_j)^n \qquad j = 1,\ldots,p \qquad (108)$$

Lorsque $a_{ij} = [0,1]$, la correction δ_i est la même qu'avec l'algorithme de Kruithof.

---

1. Mathematical Algebraic Reconstruction Techniques.

Darroch et Ratcliff (1972) ont prouvé la convergence de la méthode , en plus de suggérer une transformation permettant d'obtenir des contraintes avec des coefficients $0 \leq a_{ij} \leq 1$, à partir de contraintes générales d'égalité. Comme le souligne Lamond (1980), le désavantage de cette transformation est que les a_{ij} qui sont nuls dans la contrainte initiale, deviennent non-nuls lorsque la contrainte contient des coefficients positifs et négatifs. C'est évidemment le cas pour les 512 contraintes input-output du modèle TOMM-2, et la méthode peut alors devenir très inefficace puisqu'un balancement est d'autant plus avantageux que la matrice des coefficients des contraintes est creuse.

Lamond propose alors une généralisation de la méthode MART pour $-1 \leq a_{ij} \leq 1$, avec b_i quelconque (réel). Définissons d'abord L_1 comme le sous-ensemble de x_j tel que $a_{ij} > 0$, et L_2 comme le sous-ensemble de x_j tel que $a_{ij} < 0$, dans une contrainte donnée i. Dans le cas qui nous intéresse, i.e. pour $b_i \geq 0$, le facteur de correction à l'itération n pour la contrainte i avec la méthode MART étendue est:

$$\delta_i = \frac{b_i + (b_i^2 + 4\sigma_i^+ \sigma_i^-)^{1/2}}{2\sigma_i^+} \qquad (109)$$

où $\sigma_i^+ = \sum_{j \in L_1} a_{ij} (x_j)^n$

et $\sigma_i^- = -\sum_{j \in L_2} a_{ij} (x_j)^n$.

Appliqué à notre problème, l'ajustement de la contrainte i se fait avec le facteur de correction suivant:

$$\delta_i^k = \frac{\psi_i^k + \left[\psi_i^{k\,2} + 4 \sum_{j=1}^{R} (x_{ji}^k)^n \sum_{h \in I_i} \sum_{j=1}^{R} (x_{ij}^h)^n \alpha_i^{kh}\right]^{1/2}}{2 \sum_{j=1}^{R} (x_{ji}^k)^n} \qquad (110)$$

où ψ_i^k est la demande finale pour le bien k dans la région i telle que définie en (89), α_i^{kh} est le coefficient input-output tel que défini en (88), et x_{ij}^k est le flux entre la région i et la région j de bien k.

Lamond démontre que la méthode MART étendue converge vers la solution optimale qui est unique ici, puisque la fonction objectif à minimiser est strictement convexe et les contraintes sont linéaires. Sa preuve ne fait que confirmer le résultat général sur les méthodes de balancement, à savoir que chaque étape de l'algorithme consiste à augmenter la valeur de la fonction objectif du dual du programme mathématique, en modifiant successivement chaque variable duale, les autres étant fixées. Puisque le problème possède une solution optimale primale positive, la fonction duale possède un maximum absolu et la méthode MART converge vers une valeur maximale.

Ceci pose la question du critère d'arrêt qui doit être choisi. A la limite, les corrections deviennent nulles mais il est plus utile d'avoir un critère d'arrêt qui peut s'interpréter. Lamond donne trois possibilités:

i) Les écarts par rapport au respect des contraintes sont petits;

ii) La fonction primale est assez près de son minimum;

iii) La fonction duale est assez près de son maximum.

On a choisi le premier critère en fixant à 0,0001 le critère de tolérance par rapport à chaque contrainte. En fait, le critère interne lorsqu'on balance une contrainte est de 0,0001, et le critère externe par rapport aux autres contraintes lorsqu'on balance sur cette contrainte, est également fixée à 0,0001. On est ainsi assurée que toutes les contraintes sont respectées à un dix millième près. Le programme mathématique se résout alors en 400 secondes environ sur le Cyber 173 de l'Université du Québec à Trois-Rivières.

CHAPITRE 6

L'ESTIMATION DES FLUX DE MARCHANDISES A PRIORI

6.1 Le problème

Le but des estimations est de fournir des flux a priori au programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92), qui soient sensibles à des variables normatives, en particulier le coût de transport, et qui tiennent compte des divers facteurs institutionnels. Chacune des 64 catégories de biens est considérée séparément, la structure input-output des régions n'entrant pas en jeu à ce niveau. On a donc 64 régressions à estimer, où la variable dépendante z_{ij}^k est le flux observé en 1974 pour chacune des 64 paires origine-destination.

Il est possible de proposer une spécification différente pour chaque bien, ce qui allongerait évidemment ce travail. Comme l'accent est mis sur les capacités du modèle général TOMM-2, on se limitera à une spécification commune pour tous les biens. En plus d'une constante, les variables explicatives retenues sont: le coût de transport c_{ij}^k entre la région d'origine i et la région de destination j, la production nette P_i^k dans la région d'origine et la consommation nette A_j^k dans la région de destination j. Précisons comment ces variables ont été obtenues.

a) Les flux z_{ij}^{k} $(i,j = 1,\ldots,R \; ; \; k \in I_1)$.

Ces flux sont disponibles dans les données input-output régionales compilées par Statistique Canada (Gaston, 1979) pour 1974. Ce sont de véritables flux origine-destination dans la mesure où la région d'origine est celle où est produit le bien, et la région de destination est celle où il est consommé, soit comme input intermédiaire ou comme consommation finale. Il n'y a donc pas de flux en transit parmi ces flux interrégionaux.

Le tableau 8 présente quelques caractéristiques de ces flux. On a déjà vu au tableau 3, qu'au niveau agrégé ils représentent des mouvements dont la valeur dépasse les 85 milliards de dollars et dont une forte proportion, près de 70%, sont des flux intrarégionaux, i.e. à l'intérieur même de l'une des huit régions. Au niveau désagrégé des 64 catégories de bien, on remarque une grande diversité de situation tant en termes de la valeur des flux totaux que de l'importance des flux intrarégionaux. La disparité en termes de valeur s'explique par l'intention d'avoir une agrégation utile en termes d'application dans la planification du réseau de transport. De plus, elle peut être trompeuse puisque transposée en volume ou poids transporté, l'importance des diverses catégories de biens peut être très différente. Ainsi, la catégorie qui est la plus importante en valeur, "Produits manufacturés divers" (# 149), représente un volume sur le réseau de transport moins important que plusieurs autres catégories. Au niveau de la proportion des flux intrarégionaux, les cas extrêmes sont le "coke" (# 112) avec 100% de flux intrarégionaux et le "pétrole brut" (# 61) avec 24.4% seulement.

TABLEAU 8

Caractéristiques des flux domestiques par catégorie de biens

	Valeur totale des flux (milliers de $)	% de flux intrarégionaux	Nombre de flux nuls
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	3 078 234	85,6	17
11- Produits de la viande	4 000 908	71,5	7
12- Poissons et produits	427 493	67,5	16
13- Produits laitiers oeufs, miel	3 206 887	88,5	21
14- Blé	437 307	23,6	43
15- Autres céréales	391 127	33,8	40
16- Farine de blé	239 799	69,0	22
17- Produits céréaliers, autres	1 335 900	72,6	10
18- Fruits, légumes, autres aliments	3 126 387	58,2	5
19- Sucre, mélasse, sirop	674 074	61,1	27
20- Aliments pour animaux	1 458 744	86,0	17
21- Breuvages	1 471 683	89,1	15
22- Tabac	838 177	49,8	46
30- Graines oléagineuses	168 257	49,7	43
31- Animaux et végétaux bruts	238 044	66,4	14
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	1 227 332	97,3	21

TABLEAU 8 (suite)

Caractéristiques des flux domestiques par catégorie de biens

	Valeur totale des flux (milliers de $)	% de flux intrarégionaux	Nombre de flux nuls
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	1 157 485	99,4	28
50- Minerai et concentrés de fer	205 350	47,8	60
51- Autres minerais métalliques	1 885 049	77,9	31
60- Charbon	55 979	68,7	49
61- Pétrole brut	1 990 445	24,4	43
62- Gaz naturel	432 258	31,3	53
70- Amiante brute	8 330	50,2	54
71- Sable et gravier	143 840	92,2	52
72- Gypse	7 773	42,6	53
73- Autres produits des mines	156 978	88,2	31
74- Sel	57 509	61,6	42
75- Soufre brut et raffiné	19 628	55,5	49
76- Rebuts et ferrailles	20 866	79,7	28
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	378 516	55,7	18
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	1 704 743	54,6	9
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	676 274	69,0	12

TABLEAU 8 (suite)

Caractéristiques des flux domestiques par catégorie de biens

	Valeur totale des flux (milliers de $)	% de flux intrarégionaux	Nombre de flux nuls
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	340 503	39,4	21
92- Autres produits du bois	711 744	78,5	8
93- Pâte de bois	331 609	56,1	38
94- Papier journal	231 467	54,6	32
95- Autres papiers	821 279	66,2	23
96- Cartons, papiers de construction	635 815	60,2	16
100- Acide sulphurique	25 702	69,7	37
101- Produits chimiques industriels	885 769	61,9	14
102- Autres produits chimiques	1 710 638	60,0	10
103- Engrais chimiques	264 469	62,1	31
110- Essence	1 875 528	86,1	23
111- Mazout	2 287 535	82,5	20
112- Coke	25 875	100,0	59
113- Gaz liquéfiés	147 238	46,3	31
114- Autres produits du pétrole	626 389	72,0	16
120- Produits du fer et de l'acier	4 091 210	69,1	8
121- Produits de l'aluminium	670 427	61,0	17

TABLEAU 8 (suite)

Caractéristiques des flux domestiques par catégorie de biens

	Valeur totale des flux (milliers de $)	% de flux intrarégionaux	Nombre de flux nuls
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	863 834	57,8	29
123- Autres métaux non-ferreux	581 280	72,3	27
124- Produits métalliques	2 573 266	62,4	7
130- Ciment	280 669	91,0	38
131- Produits minéraux non-métalliques	2 206 394	75,2	9
Produits finis			
140- Machines industrielles	2 132 346	68,0	8
141- Machines agricoles	158 616	38,1	20
142- Voitures particulières	1 054 058	37,0	40
143- Véhicules utilitaires	814 813	48,8	18
144- Pièces pour automobiles	1 397 976	71,2	10
145- Autres matériels de transport	1 336 246	60,2	8
146- Autres équipements manufacturiers	3 466 779	54,5	9
147- Objets personnels et ménagers	7 726 114	49,8	1
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	2 115 936	76,1	12
149- Produits manufacturés divers	11 862 597	89,1	7
Total	85 475 497	69,5	1622

Une autre donnée importante se trouve dans ce tableau, soit le nombre de flux nuls pour chacune des catégories de biens. Il y a en tout 1622 de ces flux sur un total de 4096, soit 25,3 en moyenne par bien.

b) Les coûts de transport c_{ij}^k $(i,j = 1,\ldots,R\ ;\ k \in I_1)$

On a besoin de ces coûts pour l'ensemble des biens et pour toutes les paires O-D, sans préjuger de la part modale qui n'apparaît pas dans le modèle TOMM-2. Pour les flux intrarégionaux ($i = j$), on suppose que le coût de transport est nul ($c_{ii}^k = 0$). Pour les autres, on a pris une fonction de tarif estimée pour les chemins de fer au Canada en 1972 par Heaver et Oum (1976). Il s'agit d'une fonction log-linéaire qui a l'avantage d'inclure des caractéristiques propres à chaque catégorie de biens, ce que la variable de distance ne fait évidemment pas. Soit[1]

$$\ln R_{ij}^k = \underset{(7,99)}{2,23} - \underset{(9,71)}{0,5202} \ln(\text{tons/car})_k + \underset{(3,72)}{0,051} \ln(\$/\text{ton})_k + \underset{(2,13)}{0,1612}\ \text{Refr.} + 0,6108 \ln D_{ij} \qquad (111)$$

où R_{ij}^k : tarifs en cents pour transporter cent livres de bien k entre les régions i et j;

$(\text{tons/car})_k$: poids en tonnes d'un wagon plein, pour le bien k;

$(\$/\text{ton})_k$: valeur en dollars d'une tonne de bien k;

---

1. Les chiffres entre parenthèses sont les statistiques t.

Refr. : Variable binaire = 1 si wagon refrigéré nécessaire
= 0 sinon

D_{ij} : distance en milles entre i et j.

La variable distance a été calculée à partir du réseau ferroviaire du Canadien National, en prenant comme centroïde de chaque région les villes données au tableau suivant:

TABLEAU 9

Centroides des huit régions

No	Région	Centroide
1	Terre-Neuve	St-John's
2	Maritimes	Halifax
3	Québec	Montréal
4	Ontario	Toronto
5	Manitoba	Winnipeg
6	Saskatchewan	Saskatoon
7	Alberta	Edmonton
8	Colombie-Britannique	Vancouver

La variable densité $(\text{tons/car})_k$ a été calculée à partir du tableau des "Chargements de marchandises payantes au Canada" (Statistique Canada, 1975a), en divisant les tonnes chargées de marchandises payantes par le nombre de wagons chargés. La variable de valeur des biens $(\$/\text{ton})_k$

a été tirée d'une banque de données du Center for Transportation Studies du M.I.T. (Samuelson et Roberts, 1975). Comme cette banque présente la description d'environ 1 200 marchandises, on a choisi celle qui paraissait la plus représentative pour chacune de nos 64 catégories de biens. On peut retrouver à l'annexe 6 les valeurs qui ont ainsi été obtenues et les numéros de référence des biens qui ont été utilisés. Ajoutons, finalement, que la variable binaire associée au wagon réfrigéré a une valeur de un pour les quatre catégories de biens suivantes: produits de la viande (# 11), poissons et produits (# 12), produits laitiers, oeufs, miel (# 13) et fruits, légumes, autres aliments (# 18).

On obtient ainsi le tarif en cents pour transporter 100 livres de bien k entre n'importe quelle paire de régions pour 1972. Il faut transformer ce tarif en cents par dollar d'output de bien k transporté, pour 1974. Pour ce faire, on calcule un facteur de conversion soit:

$$\delta^k = \frac{1,1125}{100\ (\$/lb)_k}$$

où la variable $(\$/lb)_k$ représente la valeur en dollars d'une livre de bien k et où est incluse une majoration de 11,25% des tarifs pour tenir compte de l'augmentation de l'indice des prix des services de transport entre 1972 et 1974 (Statistique Canada, 1975b).

L'utilisation de cette fonction de tarif comme coût de transport entre les régions est évidemment sujette à caution. C'est pourquoi on parle plutôt d'une sorte d'indice d'éloignement entre les régions, qui implique en effet des éléments institutionnels puisqu'il est dérivé des

tarifs observés à partir d'un échantillon de connaissements. Sa principale faiblesse c'est de n'être reliée qu'au mode chemin de fer, et aussi de ne pas considérer, à l'intérieur de chaque région, la distribution spatiale de la production et de l'attraction. Il sera cependant possible d'améliorer cet aspect des données, en particulier lorsque des modèles plus désagrégés fourniront des parts modales entre un plus grand nombre de zones au Canada.

c) La production nette P_i^k ($i = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$).

Les flux partant de la région i sont fonction de la production de cette région. Par contre, si la même région est également une grande consommatrice du bien k, les flux qui vont sortir de celle-ci seront d'autant diminués. De la même façon, les exportations qui sont exogènes au modèle n'impliquent pas directement de flux domestiques. C'est pourquoi, on reprend l'idée de Picard, Paskievici et Nguyen (1985) d'utiliser la production domestique nette sortant de la région i, comme variable explicative de la production pour les flux interrégionaux ($i \neq j$), soit

$$p_i^k = \sum_{j \neq i} x_{ij}^k \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (112)$$

Mais cette variable ne peut expliquer les flux intrarégionaux ($i = j$). En faisant l'hypothèse que la région i commence par se desservir elle-même, jusqu'à un certain point, on définira la variable explicative de la production dans ces cas par la production totale, soit

$$p_i^k = \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (113)$$

d) La consommation nette A_j^k ($j = 1,\ldots,R$; $k \in I_1$).

En appliquant le même raisonnement que pour la production, on définit la variable explicative de la consommation nette pour les flux interrégionaux ($i \neq j$) de la façon suivante:

$$A_j^k = \sum_{i \neq j} x_{ij}^k \qquad \begin{matrix} j = 1,\ldots,R \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (114)$$

Pour les flux intrarégionaux ($i = j$), l'attraction est donnée par

$$A_j^k = \sum_{i=1}^{R} x_{ij}^k \qquad \begin{matrix} j = 1,\ldots,R \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (115)$$

ce qui suppose qu'on favorise d'abord, jusqu'à un certain point, les fournisseurs locaux lorsque vient le temps de s'approvisionner en bien k.

Des trois types de variables explicatives, une est essentiellement normative, soit les coûts de transport. Il sera possible d'examiner dans le cadre du modèle, les effets de politiques qui voudraient agir à ce niveau de causalité. Quant aux variables de production et d'attraction, elles sont incluses pour tenir compte des contraintes institutionnelles et historiques, en particulier la localisation des centres de production et des marchés. Dans la façon de construire ces variables, on a également ajouté une hypothèse implicite sur des comportements qui favoriseraient les flux intrarégionaux au détriment des flux interrégionaux, au-delà de ce que peut expliquer la seule variable coût de transport. Les liens interentreprises à l'intérieur d'une province et les politiques protectionnistes des provinces peuvent, à titre d'exemples, expliquer ce genre de comportement.

On peut possiblement penser à certaines autres variables pour expliquer les flux entre les provinces. Ceci est particulièrement vrai si on travaille au niveau de chacune des 64 catégories de biens où certains facteurs peuvent s'appliquer spécifiquement. Nous n'avons pas voulu travailler à ce niveau de raffinement du modèle dans un premier temps. Par contre, pour l'ensemble des biens, on a tenté d'introduire une variable représentant le différentiel dans les coûts de production. Cette variable était calculée à partir des coefficients technologiques input-output régionaux, le coût de production pour un bien dans une région étant égal au coût des inputs intermédiaires de biens et services plus le coût de la main-d'oeuvre pour produire un dollar d'output de ce bien dans la région. Cette variable ne s'est avérée à peu près jamais significative, et il semblait préférable de la laisser tomber dans la mesure où la façon de la calculer pouvait poser un problème. Il faudrait en effet voir dans quelle mesure ces différences de coûts peuvent apparaître dans une matrice intersectorielle, et comparer les indications fournies par ces matrices à d'autres indices du coût de production.

Finalement, donnons quelques précisions sur la forme fonctionnelle qui a été retenue. La fonction de tarif ayant servi au calcul des coûts de transport étant elle-même log-linéaire, on s'assure que ces coûts de transport croissent proportionnellement moins vite que la distance. Une forme fonctionnelle linéaire s'avère donc aussi justifiable que n'importe quelle autre. Les 64 régressions à estimer auront donc la forme générale suivante:

$$z_{ij}^k = B_{0k} + B_{1k}\, c_{ij}^k + B_{2k} p_i^k + B_{3k} A_j^k + e_{ij}^k \qquad i,j = 1,\ldots,R \qquad (116)$$

Pour estimer ces paramètres, on a adopté deux méthodes de résolution: les moindres carrés ordinaires et le modèle "tobit" qui permet de tenir compte des nombreux flux nuls.

Une particularité de ces données pourrait justifier de regarder éventuellement du côté d'un troisième modèle: les modèles de type "variance components" introduits par Balestra et Nerlove (1966). Ces modèles ont été proposés lorsqu'on a des séries chronologiques sur des données croisées, le but étant d'isoler l'ignorance spécifique à une unité des données croisées et l'ignorance spécifique à une période de temps donnée. Ici, on n'a pas de composante temporelle mais on a quand même deux composantes dans le terme d'erreur e_{ij}^{k}: l'une est rattachée à la région d'origine i et l'autre est rattachée à la région de destination j.

6.2 Résultats avec les moindres carrés ordinaires

Les tableaux 10 et 11 présentent les coefficients estimés et les statistiques t de Student qui s'y rattachent[1]. Les coefficients des variables de production et d'attraction sont amplement significatifs dans tous les cas, sauf pour l'attraction du bien # 112 (Coke) où le coefficient de la production est égal à un alors que tous les autres sont nuls. Ce dernier cas s'explique facilement par le fait que seuls cinq flux sont différents de zéro et que ce sont tous des flux intrarégionaux.

---

1. La version 4.0 A du logiciel Time Series Processor a été utilisée (Hall, Hall et Breslaw, 1983)

Les résultats par rapport à la variable cruciale des coûts de transport sont très satisfaisants. En effet, 42 des 64 coefficients estimés sont significatifs à un niveau de 5% si on fait un test unilatéral de Student[1]. Sur les 22 autres, 10 sont significatifs à un niveau de 10%. Or, ce résultat est toujours obtenu avec le signe négatif attendu pour ce coefficient.

Le tableau 12 indique que les régressions permettent généralement d'expliquer assez bien les flux z_{ij}^{k}. Seulement 12 biens ont un R^2 inférieur à 0,7. La statistique F est toujours significative à un niveau de 5%, et elle l'est même à un niveau de 1% pour 57 régressions. Ceci est corroboré par l'écart-type de la régression qui est règle générale relativement petit. Si on le compare à la moyenne de la variable dépendante, il est plus petit 22 fois sur 64.

---

1. Les valeurs pour le test de Student avec 60 degrés de liberté sont: $t_{60}(0,05) = 1,671$ et $t_{60}(0,10) = 1,296$.

TABLEAU 10

Coefficients estimés par les moindres carrés ordinaires

Variable dépendante (milliers de dollars)	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	-25 185	-1 490	0,372	0,496
11- Produits de la viande	-32 090	-5 381	0,326	0,389
12- Poissons et produits	3 866	-3 386	0,333	0,252
13- Produits laitiers oeufs, miel	-18 318	-348	0,322	0,577
14- Blé	-4 575	-0,2	0,135	0,128
15- Autres céréales	2 444	-275	0,140	0,129
16- Farine de blé	-4 806	-57	0,305	0,540
17- Produits céréaliers, autres	-17 092	-1 226	0,246	0,548
18- Fruits, légumes, autres aliments	-36 865	-1 584	0,224	0,400
19- Sucre, mélasse, sirop	5 876	-862	0,237	0,238
20- Aliments pour animaux	-10 973	-206	0,271	0,621
21- Breuvages	-11 568	-188	0,239	0,704
22- Tabac	-3 362	-5 888	0,208	0,335
30- Graines oléagineuses	242	-71	0,180	0,180
31- Animaux et végétaux bruts	-1 048	-530	0,393	0,238
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	-1 985	-9	0,526	0,455

TABLEAU 10 (suite)

Coefficients estimés par les moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	-734	-1	0,280	0,718
50- Minerai et concentrés de fer	1 814	-45	0,151	0,245
51- Autres minerais métalliques	-11 937	-1 175	0,515	0,252
60- Charbon	-1 019	-2	0,288	0,481
61- Pétrole brut	-18 370	-32	0,152	0,123
62- Gaz naturel	-2 133	-16	0,154	0,126
70- Amiante brute	-31	-0,8	0,272	0,205
71- Sable et gravier	-251	-6	0,325	0,590
72- Gypse	88	-2	0,185	0,156
73- Autres produits des mines	-1 304	-4	0,421	0,519
74- Sel	204	-10	0,358	0,181
75- Soufre brut et raffiné	-65	-1	0,191	0,206
76- Rebuts et ferrailles	-203	-1	0,391	0,443
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	-5 485	-409	0,324	0,299
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	-2 940	-9 557	0,230	0,315
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	-3 833	-1 402	0,294	0,281

TABLEAU 10 (suite)

Coefficients estimés par les moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	-515	-309	0,177	0,158
92- Autres produits du bois	-9 083	-154	0,429	0,439
93- Pâte de bois	316	-286	0,286	0,213
94- Papier journal	2 750	-281	0,222	0,187
95- Autres papiers	-6 969	-1 492	0,287	0,389
96- Cartons, papiers de construction	2 394	-1 186	0,270	0,247
100- Acide sulphurique	-198	-31	0,394	0,322
101- Produits chimiques industriels	-3 644	-1 723	0,269	0,327
102- Autres produits chimiques	-15 887	-2 455	0,239	0,385
103- Engrais chimiques	-2 273	-98	0,325	0,337
110- Essence	-10 310	-178	0,362	0,522
111- Mazout	-6 725	-181	0,354	0,460
112- Coke	0	0	1	0
113- Gaz liquéfiés	-853	-21	0,154	0,214
114- Autres produits du pétrole	-6 817	-339	0,312	0,458
120- Produits du fer et de l'acier	-76 106	-791	0,300	0,504
121- Produits de l'aluminium	4 182	-3 664	0,249	0,277

TABLEAU 10 (suite)

Coefficients estimés par les moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	375	-3 509	0,251	0,285
123- Autres métaux non-ferreux	-8 329	-351	0,399	0,386
124- Produits métalliques	-46 373	-3 355	0,200	0,537
130- Ciment	-163	-30	0,418	0,448
131- Produits minéraux non-métalliques	-27 429	-384	0,235	0,574
Produits finis				
140- Machines industrielles	-21 324	-12 675	0,218	0,545
141- Machines agricoles	2 045	-1 115	0,144	0,141
142- Voitures particulières	-12 460	-3 482	0,187	0,267
143- Véhicules utilitaires	-9 253	-2 430	0,213	0,323
144- Pièces pour automobiles	-16 732	-4 343	0,320	0,460
145- Autres matériels de transport	-9 123	-9 366	0,233	0,434
146- Autres équipements manufacturiers	-25 789	-32 451	0,201	0,428
147- Objets personnels et ménagers	-76 378	-38 870	0,191	0,374
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	-30 260	-986	0,263	0,586
149- Produits manufacturés divers	-81 329	-12 929	0,203	0,734

TABLEAU 11

Statistiques t - Moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	-1,97	-1,03	7,71	10,99
11- Produits de la viande	-1,26	-1,99	7,18	8,87
12- Poissons et produits	1,01	-3,16	9,89	4,94
13- Produits laitiers oeufs, miel	-2,53	-2,20	8,24	14,05
14- Blé	-0,97	-0,00	5,68	3,63
15- Autres céréales	0,55	-1,76	3,71	3,46
16- Farine de blé	-4,08	-1,66	6,51	11,00
17- Produits céréaliers, autres	-2,94	-2,28	8,43	13,28
18- Fruits, légumes, autres aliments	-2,25	-2,90	9,15	10,10
19- Sucre, mélasse, sirop	1,13	-3,48	6,10	7,08
20- Aliments pour animaux	-2,52	-1,86	7,14	14,78
21- Breuvages	-5,37	-2,12	7,42	19,95
22- Tabac	-0,35	-1,88	7,39	7,64
30- Graines oléagineuses	0,15	-1,47	4,54	6,40
31- Animaux et végétaux bruts	-0,60	-2,24	8,85	6,52
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	-2,44	-1,85	10,10	8,65

TABLEAU 11 (suite)

Statistiques t - Moindres carrés ordinaires

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	-3,70	0,30	6,27	15,91
50- Minerai et concentrés de fer	0,53	-1,61	3,60	5,99
51- Autres minerais métalliques	-0,94	-1,55	11,60	6,14
60- Charbon	-2,03	-0,65	6,68	7,72
61- Pétrole brut	-0,74	-0,22	6,25	3,45
62- Gaz naturel	-0,37	-0,46	6,32	2,94
70- Amiante brute	-0,28	-1,30	6,77	4,47
71- Sable et gravier	-0,61	-2,00	6,80	12,39
72- Gypse	0,76	-1,91	3,47	3,14
73- Autres produits des mines	-2,33	-0,99	7,32	9,31
74- Sel	0,36	-2,43	8,17	4,27
75- Soufre brut et raffiné	-0,32	-0,83	7,16	4,13
76- Rebuts et ferrailles	-2,33	-1,87	9,51	9,26
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	-1,77	-1,56	7,30	7,27
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	-0,17	-2,17	7,53	7,91
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,92	-3,87	8,56	7,22

TABLEAU 11 (suite)

Statistiques t - Moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	-0,20	-1,79	10,20	4,64
92- Autres produits du bois	-4,35	-2,48	9,66	9,56
93- Pâte de bois	0,12	-2,74	7,06	6,41
94- Papier journal	1,10	-2,73	5,48	4,30
95- Autres papiers	-1,27	-2,09	8,25	9,63
96- Cartons, papiers de construction	0,49	-3,12	7,31	7,06
100- Acide sulphurique	-0,78	-1,41	8,44	5,60
101- Produits chimiques industriels	-0,57	-2,50	7,69	8,55
102- Autres produits chimiques	-1,27	-2,10	8,31	8,53
103- Engrais chimiques	-1,07	-2,44	6,55	5,68
110- Essence	-1,71	-2,40	7,13	10,42
111- Mazout	-0,78	-3,31	7,93	9,99
112- Coke	-1,13	0	-	0
113- Gaz liquéfiés	-0,51	-0,69	4,78	4,52
114- Autres produits du pétrole	-2,44	-2,66	8,09	10,57
120- Produits du fer et de l'acier	-3,64	-1,35	8,37	11,50
121- Produits de l'aluminium	0,58	-2,35	6,40	6,95

TABLEAU 11 (suite)

Statistiques t - Moindres carrés ordinaires

	Constante	C_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	0,38	-1,85	5,97	7,10
123- Autres métaux non-ferreux	-2,53	-1,29	10,33	9,54
124- Produits métalliques	-3,46	-2,06	9,20	13,50
130- Ciment	-0,18	-2,28	8,72	9,20
131- Produits minéraux non-métalliques	-3,12	-2,12	8,15	14,28
Produits finis				
140- Machines industrielles	-1,42	-2,11	8,84	13,76
141- Machines agricoles	1,49	-3,02	6,69	4,99
142- Voitures particulières	-1,12	-1,30	10,53	5,40
143- Véhicules utilitaires	-1,18	-1,49	9,75	6,47
144- Pièces pour automobiles	-1,40	-1,22	8,67	9,57
145- Autres matériels de transport	-1,18	-3,64	8,98	11,96
146- Autres équipements manufacturiers	-0,72	-1,99	9,40	9,76
147- Objets personnels et ménagers	-1,29	-2,33	9,29	9,52
148- Contenants (boftes, bouteilles)	-3,87	-1,87	7,78	14,14
149- Produits manufacturés divers	-3,46	-1,92	7,91	24,96

TABLEAU 12

Statistiques globales - Moindres carrés ordinaires

	R^2	Statistique F	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	0,95	407,7	48 097	34 317
11- Produits de la viande	0,87	131,2	62 514	68 193
12- Poissons et produits	0,82	89,9	6 680	8 320
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,98	1 270,9	50 108	22 623
14- Blé	0,44	15,8	6,833	15 105
15- Autres céréales	0,39	12,5	6 111	12 888
16- Farine de blé	0,93	276,4	3 747	3 517
17- Produits céréaliers, autres	0,95	346,8	20,873	16 570
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,89	158,0	48 850	46 301
19- Sucre, mélasse, sirop	0,74	57,6	10 532	15 846
20- Aliments pour animaux	0,97	718,4	22 793	13 444
21- Breuvages	0,99	3 388,1	22 995	6 627
22- Tabac	0,78	71,9	13 097	22 106
30- Graines oléagineuses	0,59	28,5	2 629	5 186
31- Animaux et végétaux bruts	0,83	99,6	3 719	4 641
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	0,99	15 413,3	19 177	2 603

TABLEAU 12 (suite)

Statistiques globales - Moindres carrés ordinaires

	R^2	Statistique F	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	1,0	467 070	18 086	670
50- Minerai et concentrés de fer	0,52	22,1	3 209	12 068
51- Autres minerais métalliques	0,90	173,0	29 454	40 563
60- Charbon	0,81	84,1	875	1 553
61- Pétrole brut	0,48	18,1	31 101	86 058
62- Gaz naturel	0,47	17,6	6 754	19 940
70- Amiante brute	0,63	33,4	130	389
71- Sable et gravier	0,98	831,5	2 248	1 344
72- Gypse	0,33	9,8	121	396
73- Autres produits des mines	0,97	559,8	2 453	1 811
74- Sel	0,71	48,3	899	1 899
75- Soufre brut et raffiné	0,60	30,0	307	658
76- Rebuts et ferrailles	0,95	381,1	326	281
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	0,80	80,2	5 914	8 865
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,80	82,3	26 637	41 921
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,84	103,5	10 567	11 807

TABLEAU 12 (suite)

Statistiques globales - Moindres carrés ordinaires

	R^2	Statistique F	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	0,72	51,2	5 320	7 596
92- Autres produits du bois	0,97	685,3	11 121	6 112
93- Pâte de bois	0,75	60,5	5 181	8 320
94- Papier journal	0,60	29,4	3 617	7 852
95- Autres papiers	0,89	165,9	12 833	15 748
96- Cartons, papiers de construction	0,79	74,2	9 935	14 443
100- Acide sulphurique	0,83	98,3	402	799
101- Produits chimiques industriels	0,84	108,1	13 840	18 541
102- Autres produits chimiques	0,85	114,7	26 729	36 291
103- Engrais chimiques	0,78	70,4	4 132	5 695
110- Essence	0,97	561,9	29 305	18 201
111- Mazout	0,95	359,6	35 743	26 536
112- Coke	1,0	-	404	0
113- Gaz liquéfiés	0,47	17,9	2 301	5 284
114- Autres produits du pétrole	0,94	299,1	9 787	8 264
120- Produits du fer et de l'acier	0,94	329,2	63 925	67 929
121- Produits de l'aluminium	0,75	60,2	10 475	19 123

TABLEAU 12 (suite)

Statistiques globales - Moindres carrés ordinaires

	R^2	Statistique F	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	0,74	57,1	13 497	27 477
123- Autres métaux non-ferreux	0,94	316,2	9 083	10 452
124- Produits métalliques	0,93	255,2	40 207	36 044
130- Ciment	0,97	595,8	4 385	2 750
131- Produits minéraux non-métalliques	0,95	398,9	34 475	27 161
Produits finis				
140- Machines industrielles	0,94	295,3	33 318	29 611
141- Machines agricoles	0,64	35,6	2 478	3 081
142- Voitures particulières	0,78	70,2	16 470	26 257
143- Véhicules utilitaires	0,80	81,9	12 732	19 659
144- Pièces pour automobiles	0,92	227,4	21 843	29 754
145- Autres matériels de transport	0,92	234,5	20 879	14 822
146- Autres équipements manufacturiers	0,87	136,3	54 168	63 653
147- Objets personnels et ménagers	0,86	118,9	120 721	131 072
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	0,97	576,9	33 062	23 519
149- Produits manufacturés divers	0,99	3 059,8	185 353	54 947

6.3 Résultats avec le modèle "tobit"

On a indiqué précédemment la présence de nombreux flux nuls pour plusieurs des 64 catégories de biens. Cette concentration à une limite inférieure s'explique évidemment par l'impossibilité d'avoir des flux négatifs. Une simple droite de régression ne peut donc représenter la relation entre les flux observés et les variables explicatives. Or, si l'on ne prend que les observations pour lesquelles les flux sont strictement positifs, on ne respecte pas les conditions du modèle de moindres carrés ordinaires puisque l'espérance mathématique de la variable aléatoire n'est plus nulle. Tobin (1958)[1] propose un modèle qui utilise toutes les observations et qui est estimé à partir d'une fonction de vraisemblance où il pose l'hypothèse de normalité des variables aléatoires[2]. On reprend ce modèle et on a utilisé la version 4.0 A du logiciel T. S. P. (Hall, Hall et Breslaw, 1983) pour le résoudre.

Les tableaux 13 et 14 donnent les coefficients estimés et les statistiques t lorsqu'on utilise ce modèle de résolution. Les biens # 50 (minerai et concentrés de fer) et # 112 (coke) qui n'ont respectivement que 4 et 5 flux au-dessus de la limite n'ont pu être solutionnés à cause des problèmes numériques. De toute façon, les régressions ne sont pas vraiment pertinentes dans ces cas. Pour les autres biens, les variables de production et d'attraction demeurent évidemment significatives. Le gain est intéressant pour le coefficient du coût de transport qui devient significatif à un niveau de 5% pour tous les biens sauf deux, l'"amiante brute"(# 70) et les "voitures particulières" (# 142).

---

1. D'où le nom du modèle Tobit pour "Tobin's probit".
2. Voir aussi Maddala (1977, p. 162-171) pour plus de détails sur ce modèle.

Le tableau 15 indique également un gain au niveau global de la solution tobit par rapport aux moindres carrés ordinaires. Des 12 biens qui avaient un R^2 inférieur à 0,7, cinq sont remontés au-dessus de ce niveau. En termes de R^2, tous les biens connaissent en fait une certaine amélioration, qui est reliée au nombre de flux nuls qu'on retrouve dans chaque cas. Moins le nombre de flux à la limite est important, moins le gain est important. Ceci se traduit dans l'écart-type de la régression qui diminue dans 35 des 62 cas qui ont été estimés. Mais cette statistique indique surtout que la solution en termes de matrices a priori estimées est à peu près équivalente par rapport à la matrice des flux observés, pour les deux méthodes de résolution. Les gains apportés par la méthode de résolution "tobit" bien que sensibles n'en demeurent pas moins marginaux en termes relatifs. Ce dernier point sera précisé dans le chapitre suivant où on comparera les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2, avec les deux méthodes de résolution, aux résultats obtenus avec d'autres modèles.

TABLEAU 13

Coefficients estimés par le modèle "tobit"

Variable dépendante (milliers de dollars)	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	-7 369	-5 893	0,399	0,465
11- Produits de la viande	-19 175	-8 866	0,342	0,383
12- Poissons et produits	3 750	-4 479	0,368	0,254
13- Produits laitiers oeufs, miel	1 255	-1 218	0,360	0,522
14- Blé	-25 932	-431	0,269	0,284
15- Autres céréales	-5 790	-1 345	0,304	0,250
16- Farine de blé	-5 433	-128	0,453	0,432
17- Produits céréaliers, autres	-10 951	-2 230	0,262	0,525
18- Fruits, légumes, autres aliments	-28 999	-2 236	0,233	0,393
19- Sucre, mélasse, sirop	6 855	-1 748	0,310	0,240
20- Aliments pour animaux	-2 248	-655	0,295	0,583
21- Breuvages	-8 658	-436	0,278	0,658
22- Tabac	-35 937	-13 838	0,393	0,361
30- Graines oléagineuses	-3 471	-367	0,347	0,246
31- Animaux et végétaux bruts	1 283	-1 291	0,414	0,240
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	-237	-33	0,581	0,394

TABLEAU 13 (suite)

Coefficients estimés par le modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	-503	-14	0,364	0,633
50- Minerai et concentrés de fer	-	-	-	-
51- Autres minerais métalliques	-4 448	-4 398	0,525	0,280
60- Charbon	-3 041	-16	0,386	0,632
61- Pétrole brut	-101 515	-706	0,255	0,217
62- Gaz naturel	-47 964	-471	0,400	0,391
70- Amiante brute	-1 502	-0,4	0,575	0,347
71- Sable et gravier	259	-40	0,363	0,562
72- Gypse	-804	-11	0,588	0,460
73- Autres produits des mines	-493	-23	0,415	0,519
74- Sel	71	-41	0,496	0,201
75- Soufre brut et raffiné	-1 209	-12	0,346	0,455
76- Rebuts et ferrailles	-151	-3	0,471	0,376
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	-5 277	-1 039	0,404	0,285
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	12 822	-17 180	0,243	0,311
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	6 682	-2 256	0,330	0,273

TABLEAU 13 (suite)

Coefficients estimés par le modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	-2 025	-578	0,204	0,179
92- Autres produits du bois	-7 247	-268	0,469	0,395
93- Pâte de bois	-7 305	-517	0,385	0,275
94- Papier journal	1 920	-697	0,322	0,210
95- Autres papiers	6 590	-5 585	0,339	0,357
96- Cartons, papiers de construction	5 349	-2 133	0,292	0,257
100- Acide sulphurique	357	-188	0,460	0,264
101- Produits chimiques industriels	5 688	-4 184	0,291	0,330
102- Autres produits chimiques	-5 957	-4 654	0,250	0,380
103- Engrais chimiques	-1 483	-267	0,402	0,313
110- Essence	3 757	-545	0,361	0,501
111- Mazout	11 543	-428	0,373	0,420
112- Coke	-	-	-	-
113- Gaz liquéfiés	-354	-164	0,199	0,260
114- Autres produits du pétrole	-1 363	-882	0,327	0,441
120- Produits du fer et de l'acier	-67 076	-1 476	0,319	0,486
121- Produits de l'aluminium	13 216	-8 194	0,283	0,274

TABLEAU 13 (suite)

Coefficients estimés par le modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	11 849	-11 899	0,343	0,274
123- Autres métaux non-ferreux	-3 800	-1 627	0,434	0,371
124- Produits métalliques	-41 593	-4 683	0,209	0,525
130- Ciment	2 198	-132	0,476	0,375
131- Produits minéraux non-métalliques	-20 084	-173	0,245	0,561
Produits finis				
140- Machines industrielles	-10 530	-19 575	0,229	0,533
141- Machines agricoles	2 344	-1 905	0,174	0,167
142- Voitures particulières	-41 636	-6 716	0,251	0,303
143- Véhicules utilitaires	3 175	-6 001	0,236	0,310
144- Pièces pour automobiles	-3 701	-10 697	0,336	0,442
145- Autres matériels de transport	-4 268	-12 446	0,252	0,416
146- Autres équipements manufacturiers	1 194	-52 155	0,211	0,420
147- Objets personnels et ménagers	-71 147	-42 075	0,192	0,375
148- Contenants (boftes, bouteilles)	-22 324	-2 137	0,295	0,548
149- Produits manufacturés divers	-56 721	-23 454	0,214	0,719

TABLEAU 14

Statistiques t - Modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	-0,59	-3,61	8,62	10,68
11- Produits de la viande	-0,79	-3,30	7,94	9,16
12- Poissons et produits	0,92	-3,88	10,40	4,69
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,18	6,59	10,53	14,39
14- Blé	-2,63	-2,19	5,58	3,80
15- Autres céréales	-0,78	-3,87	4,35	3,74
16- Farine de blé	-4,65	-3,51	9,08	8,65
17- Produits céréaliers, autres	-1,89	-4,02	9,20	13,18
18- Fruits, légumes, autres aliments	-1,87	-4,15	10,18	10,58
19- Sucre, mélasse, sirop	1,15	-5,40	7,14	6,60
20- Aliments pour animaux	-0,52	-5,03	8,20	14,51
21- Breuvages	-4,24	-4,74	9,15	19,77
22- Tabac	-1,46	-1,75	8,45	5,72
30- Graines oléagineuses	-1,13	-3,30	4,80	5,45
31- Animaux et végétaux bruts	0,78	-5,15	10,43	7,44
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	-0,33	-6,30	13,14	8,81

TABLEAU 14 (suite)

Statistiques t - Modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	-2,30	-3,31	7,47	12,86
50- Minerai et concentrés de fer	-	-	-	-
51- Autres minerais métalliques	-0,30	-4,24	11,32	6,51
60- Charbon	-3,61	-2,39	6,47	7,45
61- Pétrole brut	-2,03	-2,09	5,68	3,25
62- Gaz naturel	-2,46	-2,65	4,79	2,71
70- Amiante brute	-2,90	-0,21	5,23	3,06
71- Sable et gravier	0,55	-5,84	6,10	9,62
72- Gypse	-1,89	-2,85	3,32	2,94
73- Autres produits des mines	-0,70	-3,88	5,62	7,34
74- Sel	0,95	-5,50	8,93	3,45
75- Soufre brut et raffiné	-2,55	-2,86	6,52	4,27
76- Rebuts et ferrailles	-1,72	-4,90	11,76	8,14
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	-1,70	-3,62	9,14	7,04
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,77	-3,73	8,23	8,04
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	1,75	-6,26	10,55	7,79

TABLEAU 14 (suite)

Statistiques t - Modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	0,68	-2,69	10,34	4,62
92- Autres produits du bois	-3,74	-4,40	11,38	9,27
93- Pâte de bois	-1,66	-3,00	7,14	6,44
94- Papier journal	0,59	-4,39	6,46	3,95
95- Autres papiers	1,43	-7,54	12,05	11,01
96- Cartons, papiers de construction	1,11	-5,17	8,17	7,60
100- Acide sulphurique	0,95	-4,31	6,84	3,04
101- Produits chimiques industriels	1,00	-5,88	9,74	10,12
102- Autres produits chimiques	-0,49	-3,81	9,02	8,70
103- Engrais chimiques	0,55	-4,42	6,08	3,97
110- Essence	0,57	-5,56	6,69	9,41
111- Mazout	1,22	-5,98	7,90	8,56
112- Coke	-	-	-	-
113- Gaz liquéfiés	-0,15	-3,06	4,36	3,81
114- Autres produits du pétrole	-0,56	-6,69	10,04	12,01
120- Produits du fer et de l'acier	-3,24	-2,45	8,93	11,26
121- Produits de l'aluminium	1,73	-4,44	7,22	6,80

TABLEAU 14 (suite)

Statistiques t - Modèle "tobit"

	Constante	c_{ij}	P_i	A_j
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	1,01	-4,50	7,29	6,15
123- Autres métaux non-ferreux	-1,16	-4,99	12,27	10,05
124- Produits métalliques	-3,06	-2,77	9,58	13,10
130- Ciment	2,67	-8,12	11,11	8,43
131- Produits minéraux non-métalliques	-2,37	-3,84	8,96	14,69
Produits finis				
140- Machines industrielles	-0,70	-3,16	9,44	13,69
141- Machines agricoles	1,48	-4,18	7,23	5,22
142- Voitures particulières	-2,00	-1,32	9,31	4,02
143- Véhicules utilitaires	-0,37	-3,14	10,02	5,64
144- Pièces pour automobiles	-0,30	-2,76	9,17	9,28
145- Autres matériels de transport	-0,56	-4,76	9,89	11,75
146- Autres équipements manufacturiers	0,03	-3,05	9,88	9,59
147- Objets personnels et ménagers	-1,25	-2,60	9,69	9,91
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	-2,92	-3,85	9,02	13,65
149- Produits manufacturés divers	-2,51	-3,49	8,94	26,05

TABLEAU 15

Statistiques globales - Modèle "tobit"

	R^2	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	0,98	48 097	32 339
11- Produits de la viande	0,91	62 514	64 230
12- Poissons et produits	0,90	6 680	8 420
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,99	50 108	19 077
14- Blé	0,58	6 833	24 431
15- Autres céréales	0,47	6 111	18 689
16- Farine de blé	0,98	3 747	3 062
17- Produits céréaliers, autres	0,97	20 873	15 934
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,93	48 850	43 094
19- Sucre, mélasse, sirop	0,89	10 532	16 481
20- Aliments pour animaux	0,99	22 793	12 414
21- Breuvages	0,99	22 995	5 965
22- Tabac	0,91	13 097	23 214
30- Graines oléagineuses	0,77	2 629	7 439
31- Animaux et végétaux bruts	0,92	3 719	4 081
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	1,0	19 177	2 043

TABLEAU 15 (suite)

Statistiques globales - Modèle "tobit"

	R^2	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	1,0	18 086	668
50- Minerai et concentrés de fer	-	3 209	-
51- Autres minerais métalliques	0,97	29 454	41 326
60- Charbon	0,97	875	1 722
61- Pétrole brut	0,59	31 101	138 175
62- Gaz naturel	0,55	6 754	41 489
70- Amiante brute	0,84	130	703
71- Sable et gravier	0,99	2 248	1 089
72- Gypse	0,63	121	868
73- Autres produits des mines	0,99	2 453	2 023
74- Sel	0,92	899	2 024
75- Soufre brut et raffiné	0,77	307	1 018
76- Rebuts et ferrailles	0,99	326	244
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	0,91	5 914	8 187
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,87	26 637	40 341
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,92	10 567	10 507

TABLEAU 15 (suite)

Statistiques globales - Modèle "tobit"

	R^2	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	0,78	5 320	8 350
92- Autres produits du bois	0,99	11 121	5 465
93- Pâte de bois	0,89	5 181	9 646
94- Papier journal	0,76	3 617	8 931
95- Autres papiers	0,97	12 833	11 975
96- Cartons, papiers de construction	0,88	9 935	13 859
100- Acide sulphurique	0,93	402	999
101- Produits chimiques industriels	0,93	13 840	15 731
102- Autres produits chimiques	0,91	26 729	34 748
103- Engrais chimiques	0,88	4 132	6 375
110- Essence	0,99	29 305	18 218
111- Mazout	0,98	35 743	26 556
112- Coke	-	404	-
113- Gaz liquéfiés	0,54	2 301	7 006
114- Autres produits du pétrole	0,98	9 787	6 785
120- Produits du fer et de l'acier	0,97	63 925	65 840
121- Produits de l'aluminium	0,85	10 475	18 891

TABLEAU 15 (suite)

Statistiques globales - Modèle "tobit"

	R^2	Moyenne de la variable dépendante	Ecart-type de la régression
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	0,87	13 497	28 277
123- Autres métaux non-ferreux	0,98	9 083	9 002
124- Produits métalliques	0,96	40 207	35 914
130- Ciment	0,99	4 385	2 068
131- Produits minéraux non-métalliques	0,97	34 475	25 501
Produits finis			
140- Machines industrielles	0,96	33 318	28 845
141- Machines agricoles	0,74	2 478	3 306
142- Voitures particulières	0,89	16 470	35 223
143- Véhicules utilitaires	0,87	12 732	20 661
144- Pièces pour automobiles	0,95	21 843	29 220
145- Autres matériels de transport	0,96	20 879	14 113
146- Autres équipements manufacturiers	0,92	54 168	62 955
147- Objets personnels et ménagers	0,89	120 721	126 241
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	0,98	33 062	22 151
149- Produits manufacturés divers	0,99	185 353	50 920

CHAPITRE 7

RESULTATS DE TOMM-2 ET COMPARAISONS

7.1 Les mesures d'ajustement

En plus de s'interroger sur la validité théorique de certains tests d'ajustement, les travaux de Batty (1970), Black et Salter (1975), Pitfield (1978) et Miller et Blair (1982), entre autres, démontrent l'absence de concensus lorsque vient le temps d'évaluer dans quelle mesure deux matrices origine-destination sont proches l'une de l'autre. La mesure d'information donnée par l'équation (19) fournit, selon Hobson (1969), un indice unique du gain d'information entre deux matrices exprimées sous forme de probabilités, mais cette mesure s'interprête très difficilement lorsqu'on se retrouve face à plusieurs matrices à comparer. De plus, la présence de nombreux flux nuls limite l'utilisation de nombreuses statistiques, dont celle de khi-carré et toutes celles qui standardisent chaque élément de la matrice O-D. On a donc retenu quatre mesures principales de comparaison.

La première de ces mesures est l'écart quadratique moyen, soit

$$EQM_k = \left[\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} (x_{ij}^k - z_{ij}^k)^2 / 64 \right]^{1/2} \qquad (117)$$

où x_{ij}^k est un des 64 éléments de la matrice prédite et z_{ij}^k est un élément de la matrice de comparaison (par exemple, la matrice observée en

1974). En (117), on le définit par rapport à un bien k, mais on peut également le calculer globalement pour l'ensemble des 64 biens, soit

$$EQM = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} (x_{ij}^k - z_{ij}^k)^2 / 4096 \qquad (118)$$

Cette mesure est évidemment sensible à l'échelle des données. Une manière simple de la normaliser, si on veut comparer les résultats pour les différents biens par exemple, est proposée par Pitfield (1978). Il suffit de diviser EQM_k par le flux moyen sur la matrice observée, soit

$$EQM_k^* = \frac{EQM_k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} z_{ij}^k / 64} \qquad (119)$$

où EMQ_k^* désigne la mesure normalisée. On peut également faire la même chose avec EQM en le divisant par $(\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} z_{ij}^k / 4096)$.

La deuxième de ces mesures est l'écart absolu moyen qu'on peut définir pour chaque bien, soit

$$EAM_k = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \left| x_{ij}^k - z_{ij}^k \right| \qquad (120)$$

ou globalement pour les 64 biens, soit

$$EAM = \frac{1}{4096} \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} \left| x_{ij}^k - z_{ij}^k \right| \qquad (121)$$

L'indice de dissimilitude, proposée entre autres par Pitfield (1978), est la troisième mesure retenue, soit

$$D_k = 50 \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \left| \frac{z_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} z_{ij}^k} - \frac{x_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k} \right| \qquad (122)$$

Cette mesure n'est pas influencée par l'ordre de grandeur des données et sa valeur varie entre 0 et 100. Le résultat est facile d'interprétation puisqu'il mesure le pourcentage des flux prédits qu'il faudrait réallouer pour reproduire exactement la distribution observée des flux. Exprimé pour l'ensemble des biens, l'indice se calcule selon la formule suivante:

$$D = 50 \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} \left| \frac{z_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} z_{ij}^k} - \frac{x_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k} \right| \qquad (123)$$

Un quatrième indicateur est retenu, qui lui n'est pas basé sur une comparaison de chacun des éléments des matrices, mais sur un critère plus agrégé. C'est le pourcentage des flux intrarégionaux (i = j) sur l'ensemble des flux entre les régions, soit

$$XII_k = \frac{\sum_{i=j} x_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k} \qquad (124)$$

Ce pourcentage comparé au pourcentage observé de flux intrarégionaux sera très significatif, étant donné la nature des modèles auxquels sera comparé le modèle TOMM-2. On peut le calculer également pour l'ensemble des biens.

7.2 Comparaison entre les flux a priori et les résultats de TOMM-2

Rappelons que deux méthodes de résolution ont été retenues pour traiter les régressions des flux observés sur les variables socio-économiques: les moindres carrés ordinaires et le modèle tobit. Les résultats

du modèle TOMM-2, après résolution du programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92) seront présentés selon qu'on utilise l'une ou l'autre de ces méthodes pour les 64 régressions. De plus, on présentera les résultats d'une version avec des contraintes d'offre par bien et par région. Au programme mathématique, on ajoute alors des contraintes sur la somme de ce qui est produit pour le marché domestique canadien et pour l'exportation pour chaque bien k dans chaque région i, soit

$$\sum_{\substack{j=1 \\ k\in I_1}}^{R} x_{ij}^k + X_i^k = O_i^k \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,R \\ k\in I_1 \end{matrix} \qquad (125)$$

où O_i^k est calculé à partir des flux observés et des exportations qui sont exogènes dans le modèle. Peut-être eut-il été préférable d'inclure des contraintes de capacité du type (93), mais les données pour ce faire n'étaient pas disponibles.

Il existe, par ailleurs, certains biens qui ne sont pas produits dans certaines régions. On ne dispose alors pas des coefficients techniques régionaux permettant d'écrire les contraintes comptables input-output sur une base régionale. On contourne cette difficulté en fixant à zéro tous les flux x_{ij}^k pour lesquels le flux observé z_{ij}^k est nul, même si le flux a priori estimé est différent de zéro. Ceci permet d'éviter de poser une hypothèse sur la structure technologique dans ces cas où il n'y a pas de production, en plus de se justifier en soi au niveau des flux a priori. Lorsqu'on sait qu'il n'y a pas de liens commerciaux pour un bien entre deux régions, on suppose qu'il en sera ainsi par la suite, a priori. En fait, rien ne nous empêche de relâcher cette hypothèse de façon sélective, si on possède une information sur l'établissement de liens commerciaux entre des provinces.

Le tableau 16 indique, à partir de l'écart quadratique moyen pour différents modèles sur lesquels nous reviendrons, que cette hypothèse n'a pas une incidence très grande sur les résultats[1]. Elle est tout de même un peu plus marquée dans le cas du modèle TOMM-2. Il faut ajouter que dans le cas du modèle TOMM-2 résolu avec les moindres carrés, certains flux a priori prédits peuvent être négatifs. Dans ce cas, le flux a priori est fixé à un si le flux observé est différent de zéro et à zéro sinon.

Il faut maintenant se poser la question suivante: dans quelle mesure le programme mathématique change la solution obtenue des régressions? Si on part de la solution des moindres carrés, la réponse se trouve dans les tableaux 17 et 18 qui présentent les mesures d'écart quadratique moyen et d'écart absolu moyen entre les flux observés pour 1974 et, les flux a priori, les flux obtenus de la résolution du programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92) et les flux obtenus de la résolution du programme mathématique où on ajoute les contraintes d'offre (125). Sur l'ensemble des biens, avant l'introduction des contraintes d'offre, la prise en compte des seules contraintes input-output apporte un certain gain au niveau de l'écart absolu moyen alors que le gain est à peine perceptible sur l'écart quadratique moyen. On sait que cette dernière mesure est très sensible à de grandes déviations par rapport à la moyenne. La prise en compte des contraintes input-output améliore donc quelque peu l'ajustement de la matrice mais il semble que quelques erreurs, probablement sur les flux les plus importants, viennent effacer

---

1. En prenant les coefficients techniques nationaux là où c'est nécessaire i.e. en l'absence de données régionales.

TABLEAU 16

Ecart quadratique moyen selon deux hypothèses sur les flux observés nuls[1]

Modèles	EQM
TOMM-2 (M.C.O.)	
a) $z = 0 \not\rightarrow x = 0$	29 838
b) $z = 0 \rightarrow x = 0$	27 755
TOMM-2 (tobit)	
a) $z = 0 \not\rightarrow x = 0$	28 515
b) $z = 0 \rightarrow x = 0$	26 949
GRAVITAIRE	
a) $z = 0 \not\rightarrow x = 0$	113 772
b) $z = 0 \rightarrow x = 0$	113 584
ENTROPIQUE	
a) $z = 0 \not\rightarrow x = 0$	121 093
b) $z = 0 \rightarrow x = 0$	119 907
LINEAIRE	
a) $z = 0 \not\rightarrow x = 0$	53 880
b) $z = 0 \rightarrow x = 0$	53 880

1. Le flux observé moyen est de 20 868 (il s'agit de milliers de dollars)

cette amélioration en termes d'écart quadratique moyen. Quelques biens seulement (# 1, 13, 111, 148, 149) semblent responsables de la situation. Par contre, lorsqu'on introduit les contraintes d'offre, l'ajustement est significativement meilleur qu'avec les flux a priori des régressions.

Les tableaux 19 et 20 indiquent que la situation est la même si on part de la solution par le modèle tobit. On y présente les mêmes statistiques que pour les moindres carrés, et on constate même que l'écart quadratique moyen global augmente légèrement lorsqu'on introduit les contraintes input-output, malgré un léger progrès de l'écart absolu moyen. Par contre, l'ajout des contraintes d'offre a encore là un effet très marqué.

Il faut rappeler qu'ici, on compare les flux observés aux flux obtenus par TOMM-2, lorsqu'on prend comme flux a priori les flux estimés par la régression, sans rien changer aux coûts de transport ou aux demandes finales. Tout ce qu'on regarde, c'est la capacité du modèle de se rapprocher des flux observés. Or, cette capacité semble dépendre plutôt des flux a priori que de la structure input-output des régions, et dans un deuxième temps, de la capacité de production des régions. Ce n'est finalement pas surprenant puisque les coûts de transport, dont on suppose qu'ils ont une incidence importante sur les mouvements de marchandises, se retrouvent dans l'explication des flux a priori. En fait, le modèle TOMM-2 prend tout son sens lorsqu'on modifie certains des facteurs expliquant les mouvements de marchandises. Ainsi, suite à une modification de la structure des coûts de transport entre les régions, ou suite à un changement de la demande finale dans une région pour un ou

plusieurs biens, il faut trouver une solution qui s'éloigne le moins possible des flux a priori, tout en respectant la structure technologique dans chaque région. Nous reviendrons sur ces questions au chapitre suivant, pour l'instant, comparons les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2, aux résultats obtenus avec trois autres modèles.

TABLEAU 17

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Moyenne des flux observés [1]	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Aliments et boissons				
1- Animaux vivants	48 097	33 227	42 965	17 743
11- Produits de la viande	62 514	66 028	52 046	39 160
12- Poissons et produits	6 680	8 056	4 026	3 722
13- Produits laitiers oeufs, miel	50 108	21 904	27 027	17 165
14- Blé	6 833	14 626	9 889	7 597
15- Autres céréales	6 111	12 478	10 933	10 646
16- Farine de blé	3 747	3 406	2 974	1 886
17- Produits céréaliers, autres	20 873	16 044	11 051	8 599
18- Fruits, légumes, autres aliments	48 850	44 831	36 932	26 793
19- Sucre, mélasse, sirop	10 532	15 342	9 370	6 711
20- Aliments pour animaux	22 793	13 017	13 779	7 721
21- Breuvages	22 995	6 416	6 572	5 868
22- Tabac	13 097	21 404	12 630	9 935
30- Graines oléagineuses	2 629	5 021	3 110	2 903
31- Animaux et végétaux bruts	3 719	4 493	3 721	3 139
Matières premières brutes				
40- Bois et copeaux à pâte	19 177	2 521	4 254	2 116

1. A titre de comparaison

TABLEAU 17 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Moyenne des flux observés	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Matières premières brutes (suite)				
41- Billots, poteaux et autres	18 086	649	2 625	1 123
50- Minerai et concentrés de fer	3 209	11 685	3 520	84
51- Autres minerais métalliques	24 454	39 275	26 125	19 943
60- Charbon	875	1 504	1 261	475
61- Pétrole brut	31 101	83 325	63 379	9 117
62- Gaz naturel	6 754	19 307	8 995	589
70- Amiante brute	130	377	345	472
71- Sable et gravier	2 248	1 301	309	22
72- Gypse	121	384	280	47
73- Autres produits des mines	2 453	1 753	1 411	812
74- Sel	899	1 839	911	578
75- Soufre brut et raffiné	307	637	433	229
76- Rebuts et ferrailles	326	272	164	109
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	5 914	8 584	6 264	5 015
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	26 637	40 590	39 358	16 087
Produits semi-transformés				
90- Sciage et bois d'oeuvre	10 567	11 432	9 422	6 362

TABLEAU 17 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Moyenne des flux observés	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)				
91- Placages et contre-plaqués	5 320	7 355	5 379	2 451
92- Autres produits du bois	11 121	5 918	6 659	4 619
93- Pâte de bois	5 181	8 056	5 630	4 587
94- Papier journal	3 617	7 602	5 650	5 065
95- Autres papiers	12 832	15 248	11 399	6 191
96- Cartons, papiers de construction	9 935	13 984	12 553	8 190
100- Acide sulphurique	402	774	356	182
101- Produits chimiques industriels	13 840	17 952	18 938	9 228
102- Autres produits chimiques	26 729	35 139	28 009	15 642
103- Engrais chimiques	4 132	5 514	3 844	2 848
110- Essence	29 305	17 623	23 755	10 110
111- Mazout	35 743	25 694	31 096	21 436
112- Coke	404	0	287	2
113- Gaz liquéfiés	2 301	5 116	4 076	1 880
114- Autres produits du pétrole	9 787	8 002	9 310	5 855
120- Produits du fer et de l'acier	63 925	65 772	66 097	32 231
121- Produits de l'aluminium	10 475	18 515	16 637	8 518

TABLEAU 17 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Moyenne des flux observés	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)				
122- Produits du cuivre et alliages	13 497	26 605	17 503	11 626
123- Autres métaux non-ferreux	9 083	10 120	8 925	3 146
124- Produits métalliques	40 207	34 900	28 067	17 138
130- Ciment	4 385	2 663	1 908	1 204
131- Produits minéraux non-métalliques	34 475	26 298	24 338	17 466
Produits finis				
140- Machines industrielles	33 318	28 670	22 009	14 392
141- Machines agricoles	2 478	2 983	2 544	2 126
142- Voitures particulières	16 470	25 423	14 822	12 369
143- Véhicules utilitaires	12 731	19 035	9 943	8 370
144- Pièces pour automobiles	21 843	28 809	15 502	11 960
145- Autres matériels de transport	20 879	14 351	14 345	10 883
146- Autres équipements manufacturiers	54 168	61 632	43 227	26 979
147- Objets personnels et ménagers	120 721	126 910	119 426	50 704
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	33 062	22 772	26 998	15 714
149- Produits manufacturés divers	185 353	53 202	86 811	61 718
Total:	20 868	29 918	27 755	15 420

TABLEAU 18

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	27 036	17 521	10 559
11- Produits de la viande	48 916	29 675	23 563
12- Poissons et produits	6 430	2 040	2 034
13- Produits laitiers oeufs, miel	18 579	12 413	9 432
14- Blé	8 992	3 823	2 654
15- Autres céréales	7 697	3 768	3 567
16- Farine de blé	2 746	1 491	1 158
17- Produits céréaliers, autres	12 856	6 118	5 252
18- Fruits, légumes, autres aliments	35 866	21 421	17 062
19- Sucre, mélasse, sirop	12 017	4 563	3 426
20- Aliments pour animaux	10 368	6 404	4 155
21- Breuvages	5 481	3 781	3 662
22- Tabac	17 486	3 914	2 852
30- Graines oléagineuses	3 405	1 133	1 031
31- Animaux et végétaux bruts	3 476	2 089	1 681
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	2 150	1 793	1 257

TABLEAU 18 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	542	857	287
50- Minerai et concentrés de fer	7 032	583	17
51- Autres minerais métalliques	28 711	11 469	7 584
60- Charbon	1 205	324	163
61- Pétrole brut	40 508	16 625	2 511
62- Gaz naturel	9 160	2 389	96
70- Amiante brute	260	68	90
71- Sable et gravier	1 070	116	6
72- Gypse	226	90	11
73- Autres produits des mines	1 534	659	367
74- Sel	1 374	369	189
75- Soufre brut et raffiné	433	149	64
76- Rebuts et ferrailles	236	72	53
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	7 019	3 469	2 567
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	33 496	18 130	5 697
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	9 073	4 851	3 778

TABLEAU 18 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	4 558	1 932	1 073
92- Autres produits du bois	4 792	3 364	2 929
93- Pâte de bois	5 957	2 306	1 900
94- Papier journal	4 935	2 165	1 983
95- Autres papiers	13 334	5 306	2 825
96- Cartons, papiers de construction	10 401	5 708	3 409
100- Acide sulphurique	563	138	77
101- Produits chimiques industriels	15 405	8 933	4 997
102- Autres produits chimiques	27 331	14 081	7 773
103- Engrais chimiques	4 186	1 919	1 398
110- Essence	13 529	9 106	4 855
111- Mazout	20 996	14 130	11 618
112- Coke	0	59	0
113- Gaz liquéfiés	3 458	1 866	675
114- Autres produits du pétrole	6 876	4 456	3 453
120- Produits du fer et de l'acier	58 220	30 775	20 134
121- Produits de l'aluminium	12 901	6 594	3 260

TABLEAU 18 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (moindres carrés ordinaires) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	MCO	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	19 986	6 351	3 864
123- Autres métaux non-ferreux	8 208	3 286	1 502
124- Produits métalliques	28 950	15 950	9 854
130- Ciment	2 317	934	545
131- Produits minéraux non-métalliques	21 232	13 286	10 680
Produits finis			
140- Machines industrielles	22 813	11 723	7 981
141- Machines agricoles	2 185	1 305	1 038
142- Voitures particulières	17 075	4 934	4 333
143- Véhicules utilitaires	13 418	4 010	3 136
144- Pièces pour automobiles	21 753	7 099	5 093
145- Autres matériels de transport	11 697	7 914	6 700
146- Autres équipements manufacturiers	48 161	21 742	12 981
147- Objets personnels et ménagers	104 226	55 319	23 721
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	20 221	13 600	10 237
149- Produits manufacturés divers	44 839	40 365	37 702
Total	14 998	7 857	5 134

TABLEAU 19

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	23 374	36 400	16 962
11- Produits de la viande	53 278	52 285	38 305
12- Poissons et produits	6 081	3 683	3 440
13- Produits laitiers oeufs, miel	11 062	19 686	10 963
14- Blé	12 728	9 209	6 191
15- Autres céréales	11 555	12 046	10 560
16- Farine de blé	2 025	2 563	1 545
17- Produits céréaliers, autres	11 202	9 937	7 109
18- Fruits, légumes, autres aliments	34 990	34 110	22 192
19- Sucre, mélasse, sirop	10 149	6 249	4 094
20- Aliments pour animaux	8 218	12 303	6 534
21- Breuvages	3 733	4 677	4 264
22- Tabac	13 442	13 752	13 754
30- Graines oléagineuses	3 732	3 289	2 084
31- Animaux et végétaux bruts	3 158	3 084	2 362
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	1 325	2 991	1 267

TABLEAU 19 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	345	1 681	325
50- Minerai et concentrés de fer	0	2 243	82
51- Autres minerais métalliques	22 422	20 609	13 637
60- Charbon	597	1 541	473
61- Pétrole brut	73 491	56 451	8 757
62- Gaz naturel	17 799	11 174	591
70- Amiante brute	250	376	516
71- Sable et gravier	410	558	56
72- Gypse	285	233	46
73- Autres produits des mines	1 097	1 315	562
74- Sel	973	785	387
75- Soufre brut et raffiné	480	405	131
76- Rebuts et ferrailles	133	122	67
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	5 835	5 551	4 538
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	32 763	38 775	16 464
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	7 822	7 697	5 087

TABLEAU 19 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit)
et les résultats de TOMM-2, Ecart quadratique moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	6 476	4 906	1 945
92- Autres produits du bois	3 879	5 654	3 878
93- Pâte de bois	5 347	5 005	4 939
94- Papier journal	5 806	4 698	4 205
95- Autres papiers	7 646	5 949	4 434
96- Cartons, papiers de construction	10 526	10 698	6 725
100- Acide sulphurique	486	392	141
101- Produits chimiques industriels	11 759	14 731	6 912
102- Autres produits chimiques	28 068	26 789	13 351
103- Engrais chimiques	3 955	3 407	2 404
110- Essence	11 044	21 630	9 599
111- Mazout	17 499	27 800	21 163
112- Coke	0	233	2
113- Gaz liquéfiés	4 759	4 034	2 079
114- Autres produits du pétrole	4 495	7 549	3 581
120- Produits du fer et de l'acier	49 060	61 501	26 297
121- Produits de l'aluminium	14 559	14 186	7 356

TABLEAU 19 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart quadratique moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	19 123	14 314	13 408
123- Autres métaux non-ferreux	5 506	5 369	2 866
124- Produits métalliques	27 361	28 648	15 358
130- Ciment	980	1 294	566
131- Produits minéraux non-métalliques	19 313	22 439	14 586
Produits finis			
140- Machines industrielles	22 241	21 515	12 181
141- Machines agricoles	2 556	2 382	1 963
142- Voitures particulières	17 959	12 204	12 465
143- Véhicules utilitaires	15 503	8 554	5 098
144- Pièces pour automobiles	23 315	15 848	8 804
145- Autres matériels de transport	10 132	12 805	9 187
146- Autres équipements manufacturiers	49 998	43 814	24 145
147- Objets personnels et ménagers	110 460	126 194	48 624
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	15 317	23 296	12 062
149- Produits manufacturés divers	36 075	84 839	56 824
Total	23 967	26 949	14 007

TABLEAU 20

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2, Ecart absolu moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	14 881	14 782	10 232
11- Produits de la viande	32 139	29 167	24 344
12- Poissons et produits	3 932	1 875	1 881
13- Produits laitiers oeufs, miel	6 424	7 758	5 960
14- Blé	6 652	4 128	2 144
15- Autres céréales	5 603	4 353	3 488
16- Farine de blé	1 314	1 297	869
17- Produits céréaliers, autres	7 301	5 593	4 544
18- Fruits, légumes, autres aliments	23 460	19 228	13 968
19- Sucre, mélasse, sirop	6 702	3 161	2 212
20- Aliments pour animaux	5 150	5 435	3 809
21- Breuvages	2 723	2 710	2 611
22- Tabac	4 627	3 535	3 787
30- Graines oléagineuses	1 768	1 236	771
31- Animaux et végétaux bruts	2 072	1 752	1 261
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	810	1 286	746

TABLEAU 20 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	205	659	118
50- Minerai et concentrés de fer	0	448	15
51- Autres minerais métalliques	13 342	9 081	5 479
60- Charbon	316	361	170
61- Pétrole brut	30 593	15 965	2 884
62- Gaz naturel	5 660	2 899	97
70- Amiante brute	91	81	99
71- Sable et gravier	150	200	13
72- Gypse	126	71	10
73- Autres produits des mines	655	573	255
74- Sel	508	314	167
75- Soufre brut et raffiné	215	152	39
76- Rebuts et ferrailles	88	61	32
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	3 936	3 177	2 227
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	23 121	17 820	5 445
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	5 183	3 981	2 965

TABLEAU 20 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	3 612	1 783	845
92- Autres produits du bois	2 555	2 740	2 452
93- Pâte de bois	2 957	1 967	1 933
94- Papier journal	2 958	1 840	1 720
95- Autres papiers	5 002	2 978	1 903
96- Cartons, papiers de construction	6 652	4 876	2 878
100- Acide sulphurique	276	140	52
101- Produits chimiques industriels	7 745	6 117	3 436
102- Autres produits chimiques	18 286	12 654	6 440
103- Engrais chimiques	2 224	1 618	1 103
110- Essence	6 886	7 659	5 322
111- Mazout	10 997	11 900	11 925
112- Coke	0	45	1
113- Gaz liquéfiés	2 748	1 780	845
114- Autres produits du pétrole	3 094	3 096	2 102
120- Produits du fer et de l'acier	34 062	26 686	15 880
121- Produits de l'aluminium	8 956	6 195	2 933

TABLEAU 20 (suite)

Comparaison entre les flux a priori (modèle tobit) et les résultats de TOMM-2. Ecart absolu moyen

	Tobit	TOMM-2	TOMM-2 (contraintes d'offre)
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	11 296	5 383	4 365
123- Autres métaux non-ferreux	3 053	2 068	1 371
124- Produits métalliques	19 175	15 581	8 821
130- Ciment	536	554	252
131- Produits minéraux non-métalliques	12 480	11 814	8 929
Produits finis			
140- Machines industrielles	14 453	11 065	6 675
141- Machines agricoles	1 643	1 244	959
142- Voitures particulières	9 328	3 989	4 049
143- Véhicules utilitaires	9 298	3 742	1 922
144- Pièces pour automobiles	14 401	6 821	3 945
145- Autres matériels de transport	7 267	7 100	5 852
146- Autres équipements manufacturiers	33 275	21 385	11 316
147- Objets personnels et ménagers	79 262	63 591	21 885
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	10 660	10 940	7 815
149- Produits manufacturés divers	26 072	38 919	35 238
Total	9 078	7 210	4 494

7.3 Comparaison entre modèles

7.3.1 Les modèles comparés

Comparons maintenant les résultats obtenus avec le modèle TOMM-2, aux résultats obtenus avec trois modèles: la version de Wilson du modèle Léontief-Strout d'inspiration gravitaire, un modèle entropique pur et un modèle linéaire. Pour tous ces modèles, il s'agit de résoudre un programme mathématique où on prend exactement les mêmes contraintes que pour TOMM-2, soit les contraintes (87)-(91)-(92) pour la version sans contrainte d'offre et (87)-(91)-(92)-(125) pour la version avec contraintes d'offre. La différence se situe donc au niveau des fonctions objectifs qui sont les suivantes:

i) TOMM-2: $$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k \ln \frac{x_{ij}^k}{\tilde{z}_{ij}^k} \qquad (90)$$

ii) Gravitaire (Wilson, 1970b):

$$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k \ln x_{ij}^k - \gamma \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k c_{ij}^k \qquad (126)$$

iii) Entropique: $$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k \ln x_{ij}^k \qquad (127)$$

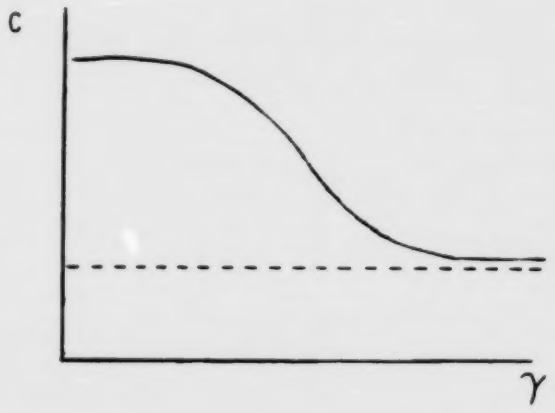
iv) Linéaire: $$\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{k \in I_1} x_{ij}^k c_{ij}^k \qquad (128).$$

Dans la version implantée du modèle gravitaire, le paramètre γ est unique pour tous les biens, comme c'était le cas pour le modèle de Los (1980). En s'appuyant sur la méthode de calibration itérative de Hyman (1969), qui a de plus montré que le résultat coincide avec le

maximum de vraisemblance, il s'agit d'essayer des valeurs de γ et de comparer le coût de transport total associé à la solution, au coût de transport total observé. Evans (1971) ayant montré que le coût total de transport est une fonction monotone décroissante de γ, la méthode converge vers une solution unique. La figure 4 illustre la relation entre le coût total de transport C et le paramètre γ.

FIGURE 4

Le coût total de transport comme fonction de γ



On remarque dans cette figure que le coût total de transport a une limite inférieure pour $\gamma = \infty$ et une limite supérieure pour $\gamma = 0$. Ces situations extrêmes nous ramènent au problème linéaire dans le premier cas et au problème entropique pur dans le deuxième cas[1].

Les paramètres retenus sont 5,69 et 15,50 selon que le problème est résolu sans contrainte d'offre et avec contraintes d'offre, respectivement. Le coût total prédit est alors à moins de un dixième de un pour cent du coût total observé, comme l'indique le tableau suivant:

1. Voir S. Evans (1973) à ce sujet.

TABLEAU 21

Comparaison entre le coût total de transport observé et prédit (modèle gravitaire)

	Coût total observé (milliers)	Coût total prédit (milliers)	Différence (en %)
Sans contrainte d'offre (γ= 5,69)	4 834 972	4 833 048	0,04%
Avec contraintes d'offre (γ= 15,50)	4 834 972	4 833 385	0,03%

Il aurait été intéressant d'examiner le modèle gravitaire de Wilson avec un paramètre différent pour chaque bien. Ce problème a une solution unique mais il pose un problème au niveau de sa résolution. A cause des relations input-output incluses dans les contraintes (87), le problème n'est en effet pas séparable par bien. Il eut été alors virtuellement impossible de calibrer 64 paramètres avec cette méthode itérative, en prenant un critère de coût total de transport par bien. La procédure consiste, en effet, à résoudre le problème mathématique pour un γ donné, à comparer les coûts totaux de transport observé et prédit et à choisir un nouveau γ. Avec 64 paramètres, la procédure devient tout à fait inopérante et on n'a pas examiné d'autres méthodes de résoudre un tel problème, comme par exemple, une méthode duale qui permettrait d'obtenir directement les variables duales correspondant aux 64 contraintes sur les coûts de transport globaux par marchandise.

Quant aux deux autres modèles, ils représentent des modèles de référence tout à fait opposé, le modèle entropique dispersant au maximum les flux alors que le modèle linéaire tentera de mettre le plus de flux intrarégionaux possibles, compte tenu des contraintes. La résolution du problème linéaire pose cependant un problème puisqu'elle impliquerait l'inversion d'une matrice d'ordre 4096. On se contente donc d'en approximer la solution en fixant γ le plus haut possible dans l'équation (126). A la limite, si $\gamma = \infty$, on retrouverait en effet le problème linéaire. Compte tenu des contraintes numériques de l'ordinateur utilisé, γ a été fixé à 230. Ajoutons finalement qu'on cherche à prédire les flux interrégionaux pour lesquels il y a effectivement eu des flux positifs en 1974, tous les flux nuls, cette année-là, étant mis à zéro dans la solution des quatre modèles, ce qui a peu d'effet sur les résultats si on se réfère au tableau 16 dont il a déjà été question.

7.3.2 Sans contrainte d'offre

Une première façon de comparer les résultats obtenus avec les différents modèles est de regarder la matrice origine-destination globale pour les 64 catégories de bien. C'est un exercice qu'il faut faire avec grandes précautions puisque les erreurs dans différentes matrices peuvent s'annuler et passer inaperçues. Les conclusions qu'on pourra en tirer devront donc être vérifiées par des mesures plus désagrégées au niveau de chaque matrice. Ces matrices, qui sont donc la somme des 64 matrices individuelles, se retrouvent aux tableaux 22 à 25, la matrice O-D observée pour 1974 se trouvant au tableau 2 du chapitre 3.

TABLEAU 22

Flux prédits par le modèle TOMM-2 (tobit)
Tous les biens commercialisables
(millions de dollars)

de \ vers	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	Total
T.-N.	537	101	342	331	5	3	2	2	1 356
Mar.	87	2 237	1 163	1 147	51	30	90	11	4 917
Qué.	288	948	13 187	3 162	612	443	766	796	20 203
Ont.	475	1 240	3 111	24 380	1 131	851	1 283	1 329	33 799
Man.	12	92	979	1 335	1 688	196	339	311	4 952
Sask.	15	104	835	1 125	314	1 261	565	369	4 588
Alb.	34	127	911	1 582	412	471	3 877	788	8 202
C.-B.	28	74	639	700	110	111	376	5 023	7 062
Total	1 475	4 922	21 167	33 761	4 325	3 367	7 312	8 748	85 078

TABLEAU 23

Flux prédits par le modèle gravitaire
Tous les biens commercialisables
(millions de dollars)

de \ vers	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	Total
T.-N.	1 131	686	1 232	1 539	68	52	90	133	4 931
Mar.	432	2 939	2 548	3 173	571	267	406	697	11 033
Qué.	299	928	4 996	3 873	648	469	663	736	12 612
Ont.	263	731	2 471	6 349	628	506	708	708	12 364
Man.	219	632	2 049	3 178	2 253	1 006	1 177	1 108	11 622
Sask.	85	490	1 739	2 777	1 192	2 190	1 639	1 276	11 388
Alb.	174	438	1 456	2 459	939	1 043	2 724	1 389	10 622
C.-B.	184	501	1 457	2 244	719	603	1 107	3 777	10 592
Total	2 787	7 345	17 948	25 592	7 018	6 136	8 514	9 824	85 164

TABLEAU 24

Flux prédits par le modèle entropique
Tous les biens commercialisables
(millions de dollars)

vers / de	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	Total
T.-N.	652	878	1 595	1 673	80	56	100	147	5 181
Mar.	504	1 528	2 955	3 725	777	393	607	1 056	11 545
Qué.	421	1 216	2 530	3 225	861	660	1 002	1 372	11 287
Ont.	375	1 013	2 230	3 061	944	757	1 205	1 389	10 974
Man.	259	825	2 506	3 609	1 259	1 032	1 281	1 282	12 053
Sask.	106	635	1 981	3 319	1 247	1 316	1 563	1 331	11 498
Alb.	208	603	1 829	3 324	1 118	1 140	1 622	1 648	11 492
C.-B.	267	771	1 979	3 091	1 004	761	1 284	1 753	10 910
Total	2 792	7 469	17 605	25 027	7 290	6 115	8 664	9 978	84 940

TABLEAU 25

Flux prédits par le modèle linéaire
Tous les biens commercialisables
(millions de dollars)

vers / de	T.-N.	Mar.	Qué.	Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	Total
T.-N.	1 475	68	83	73	0,6	0,2	0,3	0,2	1 701
Mar.	78	4 976	436	373	8	5	9	9	5 895
Qué.	20	178	19 891	1 867	54	40	71	66	22 187
Ont.	9	66	1 142	29 385	62	45	77	69	30 855
Man.	8	33	256	521	3 654	103	115	58	4 748
Sask.	0,2	13	183	363	204	3 109	474	158	4 503
Alb.	1	15	90	175	88	153	6 073	225	6 822
C.-B.	0,9	10	46	88	20	26	141	8 798	9 131
Total	1 593	5 359	22 128	32 844	4 091	3 482	6 962	9 384	85 842

Ce qui se dégage de ces tableaux est assez clair: le modèle TOMM-2 permet de se rapprocher le plus de la matrice observée, le modèle linéaire surestimant les flux intrarégionaux et les modèles entropique et gravitaire sous estimant les flux intrarégionaux. Ne prenons qu'un exemple, les flux à l'intérieur du Québec qui sont de 15,3 milliards. Le modèle TOMM-2 en prédit 13,2 milliards, le modèle linéaire 19,9 milliards, et les modèles entropique et gravitaire, 2,5 et 5,0 milliards, respectivement. La matrice obtenue de TOMM-2 est certes relativement proche de la matrice observée, on y constate cependant une sous-évaluation des flux originant du Québec et de l'Ontario et une sur-évaluation pour les autres provinces, à l'exception de la Colombie-Britannique qui est à moins de 1,0% près de sa production effectivement observée. Ce biais vers le bas pour les deux provinces qui ont une balance de services positive avec les autres provinces, peut probablement s'expliquer en partie par l'hypothèse sur l'absence de flux de services entre les provinces. Mais, ce seul facteur ne peut expliquer tout l'écart et les facteurs institutionnels favorisant ces deux provinces sont probablement sous-estimés dans leurs cas.

Voyant maintenant ce qui se passe en utilisant les statistiques globales d'ajustement (tableau 26). Même si ces statistiques sont uniques pour tous les biens, elles ne sont pas basées sur une comparaison des éléments de la matrice O-D globale mais bien sur une comparaison de chaque élément des 64 matrices O-D. Le modèle TOMM-2, estimé à partir des moindres carrés ordinaires ou du modèle tobit, donne des résultats nettement supérieurs aux trois autres modèles. A l'exception du modèle

TABLEAU 26

Statistiques globales (sans contrainte d'offre)

	EQM[1]	EMA[1]	D	X11[2]
TOMM-2 (M.C.O.)	27 755	7 857	18,8	60,0
TOMM-2 (TOBIT)	26 949	7 210	17,2	61,3
GRAVITAIRE	113 584	25 073	60,2	31,0
ENTROPIQUE	119 907	28 724	69,0	16,2
LINEAIRE	53 880	13 612	31,9	98,6

1. Le flux moyen observé est de 20 868.

2. Le pourcentage des flux intrarégionaux observés est de 69,5%.

linéaire, tous les modèles sous-estiment le pourcentage de flux intrarégionaux, mais de façon beaucoup plus marquée pour les modèles gravitaire et entropique. Ceci confirme ce qu'on a constaté au niveau des matrices O-D globales et qu'on appréhendait au départ avec ces modèles. L'indice de dissimilitude est particulièrement intéressant puisqu'il indique que seulement 17,2% des flux avec le modèle TOMM-2 (tobit) devraient être déplacés pour reproduire exactement la matrice observée, comparativement à 69% pour le modèle entropique qui est le moins efficace. En fait, la performance de ce dernier modèle apparaît moins bonne que celle du modèle linéaire, uniquement à cause de la nature des données observées. L'erreur de 31,9% du modèle linéaire est uniquement due au pourcentage de flux intrarégionaux qui est de 69,5%. Avec des données où on observerait 50% de flux intrarégionaux, l'erreur du modèle linéaire serait d'environ 50% puisqu'il ne permet que des flux intrarégionaux dans la mesure où cela est possible (i.e. qu'il y ait effectivement production dans la région). La performance du modèle de Wilson démontre cependant l'impossibilité d'expliquer les mouvements interrégionaux uniquement en se basant sur l'explication des coûts de transport, et en dispersant au maximum les flux en ce qui a trait à toutes les autres explications.

La supériorité du modèle TOMM-2 sur les autres modèles peut également se vérifier au niveau de chaque bien, quelle que soit la mesure de comparaison. On ne discutera ici que de EQM_k^* et D_k, deux mesures normalisées qui permettent en plus de comparer les résultats entre biens, quels que soient les volumes moyens transportés pour chacun.

Qu'on regarde l'écart quadratique moyen standardisé (tableau 27) ou l'indice de dissimilitude (tableau 28), la conclusion est la même. En fait, il n'y a que quatre biens pour lesquels EQM_k^* est inférieur, pour le modèle gravitaire (# 70, # 111) ou pour le modèle linéaire (# 110, # 149). Il semble par ailleurs ne pas y avoir de corrélation entre les résultats pour les différents modèles. On ne peut en effet pas conclure qu'un bien sera mieux modélisé par les trois autres modèles lorsque le premier l'a mieux modélisé. Pour chacun des modèles, il y a finalement une assez grande stabilité des résultats. Quand bien même on regroupe les biens par grandes catégories (aliments et boissons, matières premières brutes, produits semi-transformés et produits finis), on ne peut arriver à conclure qu'un modèle est relativement meilleur lorsqu'il s'agit de prédire les flux pour un bien à l'intérieur de cette catégorie.

Si on ne s'arrête qu'à la performance du modèle TOMM-2 (tobit), on constate qu'il n'y a que 2 biens où il faudrait déplacer plus de 25% des flux pour reproduire la matrice des flux observés. La pire performance est obtenue avec le bien # 15 (autres céréales), soit 29,1%.

TABLEAU 27

Ecart quadratique moyen standardisé
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Aliments et boissons					
1- Animaux vivants	0,89	0,76	2,93	3,07	0,97
11- Produits de la viande	0,83	0,84	2,80	2,88	1,43
12- Poissons et produits	0,60	0,55	2,96	3,03	1,87
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,54	0,39	2,25	3,34	0,73
14- Blé	1,45	1,35	3,43	2,70	4,52
15- Autres céréales	1,79	1,97	2,50	2,56	4,28
16- Farine de blé	0,79	0,68	2,95	3,37	1,36
17- Produits céréaliers, autres	0,53	0,48	3,01	3,17	1,13
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,76	0,70	2,11	2,67	1,71
19- Sucre, mélasse, sirop	0,89	0,59	1,96	2,45	2,26
20- Aliments pour animaux	0,60	0,54	2,71	3,37	1,72
21- Breuvages	0,29	0,20	2,95	3,59	0,41
22- Tabac	0,96	1,05	2,57	2,94	2,32
30- Graines oléagineuses	1,18	1,25	3,51	3,83	3,61
31- Animaux et végétaux bruts	1,00	0,83	2,79	2,88	1,84
Matières premières brutes					
40- Bois et copeaux à pâte	0,22	0,16	0,95	3,48	0,61

TABLEAU 27 (suite)

Ecart quadratique moyen standardisé
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Matières premières brutes (suite)					
41- Billots, poteaux et autres	0,15	0,09	1,90	4,87	0,77
50- Minerai et concentrés de fer	1,10	0,70	3,84	3,95	13,19
51- Autres minerais métalliques	0,89	0,70	3,72	4,01	1,64
60- Charbon	1,44	1,76	7,68	9,74	2,56
61- Pétrole brut	2,04	1,82	4,58	3,34	6,02
62- Gaz naturel	1,33	1,65	4,62	2,55	5,03
70- Amiante brute	2,65	2,89	1,96	3,27	3,69
71- Sable et gravier	0,14	0,25	1,16	2,45	0,54
72- Gypse	2,31	1,93	5,78	6,25	4,82
73- Autres produits des mines	0,58	0,54	2,29	3,77	0,95
74- Sel	1,01	0,87	2,76	2,91	3,06
75- Soufre brut et raffiné	1,41	1,32	3,25	2,60	3,15
76- Rebuts et ferrailles	0,50	0,37	2,33	3,72	1,20
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	1,06	0,94	3,17	3,26	2,52
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	1,48	1,46	3,36	3,40	2,13
Produits semi-transformés					
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,89	0,73	2,60	2,74	1,72

TABLEAU 27 (suite)

Ecart quadratique moyen standardisé
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
91- Placages et contre-plaqués	1,01	0,92	2,81	2,81	3,30
92- Autres produits du bois	0,60	0,51	2,39	3,13	0,89
93- Pâte de bois	1,09	0,97	2,07	2,70	7,34
94- Papier journal	1,56	1,30	2,60	2,98	2,93
95- Autres papiers	0,89	0,46	3,21	3,33	1,53
96- Cartons, papiers de construction	1,26	1,08	2,86	3,00	2,17
100- Acide sulphurique	0,89	0,98	4,13	4,33	2,22
101- Produits chimiques industriels	1,37	1,06	3,08	3,21	2,27
102- Autres produits chimiques	1,05	1,00	3,22	3,35	1,97
103- Engrais chimiques	0,93	0,82	2,51	2,86	1,91
110- Essence	0,81	0,74	1,70	3,06	0,68
111- Mazout	0,87	0,78	0,84	2,82	0,94
112- Coke	0,71	0,58	2,80	2,97	80,68
113- Gaz liquéfiés	1,77	1,75	2,70	2,65	3,60
114- Autres produits du pétrole	0,95	0,77	2,90	3,11	1,37
120- Produits du fer et de l'acier	1,03	0,96	3,44	4,15	1,41
121- Produits de l'aluminium	1,59	1,35	3,40	3,43	2,35

TABLEAU 27 (suite)

Ecart quadratique moyen standardisé
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
122- Produits du cuivre et alliages	1,30	1,06	3,23	3,34	2,46
123- Autres métaux non-ferreux	0,98	0,59	4,13	4,33	1,29
124- Produits métalliques	0,70	0,71	3,08	3,18	1,52
130- Ciment	0,44	0,30	2,17	3,30	0,85
131- Produits minéraux non-métalliques	0,71	0,65	2,21	3,37	1,06
Produits finis					
140- Machines industrielles	0,66	0,65	3,29	3,32	1,33
141- Machines agricoles	1,03	0,96	1,71	1,74	3,10
142- Voitures particulières	0,90	0,74	2,78	2,86	2,25
143- Véhicules utilitaires	0,78	0,67	3,20	3,28	2,43
144- Pièces pour automobiles	0,71	0,73	4,43	4,48	1,61
145- Autres matériels de transport	0,69	0,61	2,36	2,40	1,46
146- Autres équipements manufacturiers	0,80	0,81	3,14	3,14	1,96
147- Objets personnels et ménagers	0,99	1,05	2,68	2,72	2,12
148- Contenants (boftes, bouteilles)	0,82	0,70	3,46	3,69	1,03
149- Produits manufacturés divers	0,47	0,46	3,53	3,56	0,43

TABLEAU 28

Indice de dissimilitude
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Aliments et boissons					
1- Animaux vivants	18,1	11,0	63,6	68,5	20,8
11- Produits de la viande	23,7	18,8	64,5	68,0	28,6
12- Poissons et produits	16,5	15,2	61,9	64,8	33,9
13- Produits laitiers oeufs, miel	11,8	9,4	40,3	69,8	12,1
14- Blé	27,8	19,4	64,3	51,5	77,7
15- Autres céréales	29,7	29,1	48,0	50,5	67,2
16- Farine de blé	19,7	15,4	49,4	61,6	30,2
17- Produits céréaliers, autres	14,7	12,6	61,5	65,7	27,4
18- Fruits, légumes, autres aliments	21,9	17,4	48,8	63,4	41,8
19- Sucre, mélasse, sirop	21,2	16,2	41,8	55,1	38,9
20- Aliments pour animaux	13,7	9,1	51,0	71,3	20,4
21- Breuvages	8,3	8,0	58,1	74,6	10,9
22- Tabac	14,5	10,9	32,2	39,1	50,2
30- Graines oléagineuses	21,7	18,9	46,6	51,5	49,2
31- Animaux et végétaux bruts	28,4	22,6	63,0	66,2	33,6
Matières premières brutes					
40- Bois et copeaux à pâte	4,9	3,4	14,9	78,1	9,3

TABLEAU 28 (suite)

Indice de dissimilitude
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Matières premières brutes (suite)					
41- Billots, poteaux et autres	1,9	0,6	31,8	75,1	8,1
50- Minerai et concentrés de fer	10,2	0,3	40,7	34,0	82,6
51- Autres minerais métalliques	19,2	12,8	64,2	73,3	24,5
60- Charbon	13,1	9,3	25,5	26,8	25,9
61- Pétrole brut	27,1	4,3	78,2	58,9	82,4
62- Gaz naturel	17,5	0,8	63,9	30,7	65,2
70- Amiante brute	15,5	16,5	27,0	41,6	19,4
71- Sable et gravier	2,7	0,1	19,3	35,7	8,3
72- Gypse	35,8	5,6	59,9	59,0	67,5
73- Autres produits des mines	14,1	7,5	38,7	66,7	16,0
74- Sel	20,8	10,5	43,2	47,3	40,4
75- Soufre brut et raffiné	23,2	10,6	44,0	40,5	44,5
76- Rebuts et ferrailles	11,2	8,3	37,3	70,1	24,2
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	29,6	21,6	64,6	67,3	44,3
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	34,0	10,7	75,3	75,8	45,4
Produits semi-transformés					
90- Sciage et bois d'oeuvre	23,2	17,8	69,9	73,6	31,0

TABLEAU 28 (suite)

Indice de dissimilitude
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
91- Placages et contre-plaqués	18,1	10,1	68,5	70,5	64,4
92- Autres produits du bois	15,2	13,1	50,1	68,2	21,5
93- Pâte de bois	21,7	18,3	35,9	53,9	60,4
94- Papier journal	29,8	27,4	52,2	65,2	38,7
95- Autres papiers	20,4	11,0	63,2	65,9	33,8
96- Cartons, papiers de construction	28,7	17,2	65,7	69,1	39,9
100- Acide sulphurique	17,4	9,5	62,5	64,3	32,3
101- Produits chimiques industriels	32,2	18,1	65,0	68,6	38,1
102- Autres produits chimiques	26,5	14,6	68,4	71,7	40,0
103- Engrais chimiques	23,2	16,9	45,0	58,9	37,9
110- Essence	15,5	8,1	27,7	69,4	14,2
111- Mazout	18,9	14,8	16,6	63,6	20,2
112- Coke	6,6	0,03	23,5	24,9	94,6
113- Gaz liquéfiés	40,9	14,5	53,2	58,7	55,0
114- Autres produits du pétrole	22,4	17,2	57,4	63,1	28,0
120- Produits du fer et de l'acier	24,0	15,7	54,0	67,9	31,9
121- Produits de l'aluminium	31,6	15,6	72,3	72,7	39,0

TABLEAU 28 (suite)

Indice de dissimilitude
(sans contrainte d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
122- Produits du cuivre et alliages	23,3	14,3	57,0	59,3	42,2
123- Autres métaux non-ferreux	17,6	8,3	61,5	65,6	27,7
124- Produits métalliques	19,8	12,2	66,8	69,8	37,7
130- Ciment	11,5	6,2	33,2	63,1	14,5
131- Produits minéraux non-métalliques	19,2	15,4	43,2	68,7	24,8
Produits finis					
140- Machines industrielles	17,5	11,9	68,0	68,9	32,0
141- Machines agricoles	26,4	20,9	51,4	52,5	61,9
142- Voitures particulières	15,0	13,1	57,9	58,8	36,5
143- Véhicules utilitaires	15,7	12,3	67,7	69,1	51,2
144- Pièces pour automobiles	15,9	12,0	71,6	72,8	28,8
145- Autres matériels de transport	18,9	15,9	58,5	59,8	39,8
146- Autres équipements manufacturiers	19,9	12,1	70,0	70,1	45,5
147- Objets personnels et ménagers	22,9	9,8	71,4	72,3	50,2
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	20,3	15,4	61,7	68,1	23,9
149- Produits manufacturés divers	10,5	9,7	76,0	77,3	10,9
Tous les biens	18,8	17.2	60,2	69,0	31,9

7.3.3 Avec contraintes d'offre

Ajoutons maintenant les contraintes de type (125) aux programmes mathématiques qui solutionnent les quatre modèles. Les résultats globaux sont présentés au tableau 29. On remarque évidemment que l'ajustement s'améliore passablement suite à l'introduction de ces contraintes. Mesurée sur l'écart quadratique moyen global, l'amélioration varie entre 37% pour le modèle entropique et 48% pour le modèle TOMM-2 (tobit). C'est quand même le meilleur modèle qui connaît la meilleure amélioration et le pire qui s'améliore le moins. Par contre, si on regarde l'indice de dissimilitude, le modèle entropique et le modèle gravitaire connaissent la meilleure progression, tout en restant beaucoup moins efficace que le modèle TOMM-2.

Pour voir ce qui se passe au niveau de chaque bien, ne retenons que l'indice de dissimilitude (tableau 30). Si on compare au même indice sans les contraintes d'offre (tableau 28), on remarque, en particulier pour le modèle gravitaire, que la correction qu'apporte la présence de ces contraintes est parfois spectaculaire. Ainsi, pour le bien # 14 (blé), l'erreur passe de 64,3% à 6,3%, par exemple. Le modèle TOMM-2 étant déjà très performant dans la version sans contrainte d'offre ne peut connaître de tels changements. L'amélioration est quand même sensible, mais dans plusieurs cas l'un ou l'autre des autres modèles peut le surpasser. L'erreur du modèle TOMM-2 étant cependant, en général, petite, la différence n'est jamais très grande en faveur des autres modèles. On peut quand même conclure que l'avantage de ce modèle sur les autres est d'autant plus marqué qu'il n'y a pas de contrainte d'offre. Ce sera évidemment

un avantage dans les applications où l'on veut justement relâcher ce genre de contraintes pour permettre un nouvel équilibre. C'est l'objet du prochain chapitre.

TABLEAU 29

Statistiques globales (avec contraintes d'offre)

	EQM[1]	EMA[1]	D	X11[2]
TOMM-2 (M.C.O.)	15 420	5 134	12,3	64,7
TOMM-2 (TOBIT)	14 007	4 494	10,7	65,2
GRAVITAIRE	62 464	9 674	23,2	51,9
ENTROPIQUE	76 017	16 442	39,5	32,0
LINEAIRE	31 853	7 597	19,2	84,3

1. Le flux moyen observé est de 20 868.
2. Le pourcentage des flux intrarégionaux observés est de 69,5%.

TABLEAU 30

Indice de dissimilitude
(avec contraintes d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Aliments et boissons					
1- Animaux vivants	11,0	10,6	47,9	63,2	10,5
11- Produits de la viande	18,8	19,5	40,2	53,4	17,8
12- Poissons et produits	15,2	14,1	40,8	48,0	8,8
13- Produits laitiers oeufs, miel	9,4	5,9	3,7	59,8	11,5
14- Blé	19,4	15,8	6,3	18,5	76,0
15- Autres céréales	29,1	28,1	33,5	31,7	45,5
16- Farine de blé	15,4	11,6	11,4	50,7	27,5
17- Produits céréaliers, autres	12,6	10,8	28,3	44,5	17,9
18- Fruits, légumes, autres aliments	17,4	14,3	11,9	32,3	41,5
19- Sucre, mélasse, sirop	16,2	10,4	10,5	36,1	29,0
20- Aliments pour animaux	9,1	8,3	9,6	58,3	13,9
21- Breuvages	8,0	5,7	18,8	60,1	10,8
22- Tabac	10,9	14,5	7,8	9,8	20,3
30- Graines oléagineuses	18,9	14,1	9,9	29,4	50,0
31- Animaux et végétaux bruts	22,6	17,0	32,9	43,0	19,4
Matières premières brutes					
40- Bois et copeaux à pâte	3,4	2,1	2,7	67,7	4,3

TABLEAU 30 (suite)

Indice de dissimilitude
(avec contraintes d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Matières premières brutes (suite)					
41- Billots, poteaux et autres	0,6	0,3	1,2	46,3	1,4
50- Minerai et concentrés de fer	0,3	0,3	0,3	0,3	47,4
51- Autres minerais métalliques	12,8	9,4	21,0	42,8	7,3
60- Charbon	9,3	9,7	5,6	11,9	23,3
61- Pétrole brut	4,3	4,4	15,2	6,6	75,6
62- Gaz naturel	0,8	0,8	0,9	0,9	69,0
70- Amiante brute	16,5	20,7	15,1	6,8	15,2
71- Sable et gravier	0,1	0,3	4,1	0,2	7,8
72- Gypse	5,6	5,4	4,6	5,6	46,0
73- Autres produits des mines	7,5	5,3	7,0	52,1	12,0
74- Sel	10,5	8,2	1,2	24,5	40,7
75- Soufre brut et raffiné	10,6	6,6	4,2	15,2	43,7
76- Rebuts et ferrailles	8,3	4,9	12,4	51,0	20,3
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	21,6	18,9	22,8	34,2	28,1
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	10,7	10,2	10,0	12,9	26,3
Produits semi-transformés					
90- Sciage et bois d'oeuvre	17,8	14,0	27,3	51,3	13,8

TABLEAU 30 (suite)

Indice de dissimilitude
(avec contraintes d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (tobit)	Gravitarie	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
91- Placages et contre-plaqués	10,1	7,9	5,3	19,1	37,8
92- Autres produits du bois	13,1	10,9	8,7	57,6	21,5
93- Pâte de bois	18,3	18,6	13,2	24,9	43,8
94- Papier journal	27,4	23,8	12,5	35,8	15,6
95- Autres papiers	11,0	7,4	20,1	29,4	26,3
96- Cartons, papiers de construction	17,2	14,5	12,8	31,0	26,0
100- Acide sulphurique	9,5	6,5	9,4	17,2	13,7
101- Produits chimiques industriels	18,1	12,4	14,3	27,3	35,6
102- Autres produits chimiques	14,6	12,1	10,9	24,4	28,8
103- Engrais chimiques	16,9	13,4	21,1	44,0	37,7
110- Essence	8,1	8,7	6,3	61,2	14,1
111- Mazout	14,8	15,3	13,7	56,2	20,4
112- Coke	0,03	0,03	0,1	0	1,0
113- Gaz liquéfiés	14,5	18,3	12,9	35,3	54,9
114- Autres produits du pétrole	17,2	10,2	12,2	45,7	45,4
120- Produits du fer et de l'acier	15,7	12,4	12,6	27,1	30,9
121- Produits de l'aluminium	15,6	14,0	19,0	23,9	20,9

TABLEAU 30 (suite)

Indice de dissimilitude
(avec contraintes d'offre)

	TOMM-2 (MCO)	TOMM-2 (Tobit)	Gravitaire	Entropique	Linéaire
Produits semi-transformés (suite)					
122- Produits du cuivre et alliages	14,3	16,2	12,6	17,0	33,5
123- Autres métaux non-ferreux	8,3	7,6	13,4	22,7	20,7
124- Produits métalliques	12,2	10,8	20,1	29,8	23,1
130- Ciment	6,2	2,8	6,1	36,1	9,2
131- Produits minéraux non-métalliques	15,4	12,8	8,4	43,7	24,8
Produits finis					
140- Machines industrielles	11,9	10,0	32,4	34,3	7,1
141- Machines agricoles	20,9	19,4	27,7	30,9	19,6
142- Voitures particulières	13,1	12,3	4,1	3,4	17,0
143- Véhicules utilitaires	12,3	7,5	9,5	14,2	15,8
144- Pièces pour automobiles	12,0	9,4	19,7	21,7	9,8
145- Autres matériels de transport	15,9	13,8	36,8	40,2	14,2
146- Autres équipements manufacturiers	12,1	10,5	17,9	19,1	5,0
147- Objets personnels et ménagers	9,8	9,1	16,0	19,0	15,8
148- Contenants (boftes, bouteilles)	15,4	11,7	21,0	44,4	22,4
149- Produits manufacturés divers	9,7	9,0	58,6	62,7	7,0
Tous les biens	12,3	10,7	23,2	39,5	19,2

CHAPITRE 8

APPLICATIONS

8.1 Champs d'application du modèle

Le modèle TOMM-2 permet une grande variété de simulations. On peut d'abord agir au niveau des variables socio-économiques expliquant les flux a priori. Par exemple, si on diminue les coûts de transport pour tous les flux de marchandises (ou pour certains d'entre eux) qui partent d'une région, on pourra voir les effets sur les flux interrégionaux et sur la production régionale. L'impact se fait d'abord sentir au niveau des flux a priori qu'on recalcule à partir des coefficients estimés dans les régressions. Ces nouveaux flux a priori sont ensuite insérés dans le programme mathématique (90)-(87)-(91)-(92), dont la solution tendra vers ces nouveaux flux a priori tout en respectant cependant les contraintes qu'on leur impose.

On peut aussi agir au niveau des contraintes en modifiant certaines demandes finales régionales, tant pour les biens commercialisables que pour les services non-commercialisables. Ceci permettra de calculer des multiplicateurs intersectoriels analogues aux multiplicateurs input-output. En fait, ce sont les mêmes multiplicateurs mais ils ne sont pas obtenus en inversant une matrice mais en solutionnant un programme mathématique. Les modifications peuvent aussi porter sur les coefficients structurels intersectoriels régionaux, si on veut simuler

les effets de politiques dont le but serait d'agir sur la structure industrielle de certaines provinces.

Il est finalement possible d'utiliser les matrices origine-destination données par TOMM-2 comme input dans un modèle de transport simulant le choix modal et l'affectation sur le réseau de transport multimodal canadien, à un niveau de désagrégation plus poussée. Cette application, qui était d'ailleurs la justification initiale des recherches entreprises par Los (1980), permet de relier la demande de transport des marchandises par modes aux variables économiques structurelles que sont les coefficients input-output régionaux et aux variables économiques conjoncturelles que sont les demandes finales régionales.

Les applications sont donc très nombreuses comme le soulignent ces trois types très différents d'application, sur lesquelles nous allons maintenant revenir un peu plus en détail, avec des résultats empiriques basés sur les données de Statistique Canada pour 1974.

8.2 Les multiplicateurs intersectoriels du Québec

8.2.1 La procédure utilisée

Un multiplicateur mesure la réponse à un changement égal à l'unité. Dans le cas des multiplicateurs intersectoriels, on suppose qu'il s'agit d'une hausse de un dollar dans les ventes à un secteur de la demande finale en particulier, ou à l'ensemble des secteurs de la demande finale. Comme on s'intéresse ici à la structure technologique plutôt qu'à la structure de consommation, on examinera ici les multiplicateurs intersectoriels calculés à partir d'une augmentation de la

demande finale au Québec pour chacun des 88 biens commercialisables et services. Il s'agit donc de 88 situations différentes où l'impact initial ne porte à chaque fois que sur un seul des 88 biens ou services.

Une modification à la demande finale apparaît dans les équations comptables (87) du programme mathématique à résoudre. Les flux a priori ne changent donc pas puisqu'on veut isoler le seul effet dû à la variation de la demande finale, lorsque tous les facteurs institutionnels et normatifs qui entrent en jeu dans la détermination de la distribution ex ante sont considérés inchangés. Ainsi, les variables de production et d'attraction P_i et A_j, qui représentent tout le contexte institutionnel, ne doivent pas être modifiées si on veut permettre une répartition des effets entre les régions qui tiennent compte de l'inertie inhérente au système économique canadien. Il est alors possible de prendre dans ce cas-ci les flux observés en 1974 comme flux a priori, et cela est même souhaitable puisqu'ils représentent le mieux la distribution ex ante qui recoupe tous les aspects institutionnels et normatifs caractérisant le système économique canadien. Dans le cas où un facteur normatif comme les coûts de transports change, on ne peut évidemment prendre ces flux observés et il faut alors utiliser les flux a priori estimés à partir des diverses variables socio-économiques. Cela ne remet pas en cause la généralité du modèle où il s'agit de s'éloigner le moins possible de la distribution des flux a priori la plus appropriée pour un problème donné, tout en tenant compte de la structure intersectorielle de chaque région.

C'est ce qui a été fait dans les simulations qu'on présente ici. Les changements apparaissent uniquement dans l'élément ψ_i^k des contraintes (87), dont l'équation (89) précise la composition. On voit alors que pour les 64 biens commercialisables, seul le bien dont la demande finale est augmentée, voit la contrainte qui lui est associée changer. Et comme la demande finale est sur une base régionale, lorsqu'on étudie les multiplicateurs associés à la demande finale dans une région pour un bien commercialisable, il n'y a qu'une seule des 512 contraintes de type (87) qui est modifiée, toutes les autres demeurant inchangées. Pour les 24 services, la modification de la demande finale dans une région est transmise aux 64 contraintes sur les biens commercialisables de cette région comme l'indique le second élément de la partie droite de l'équation (89). Les contraintes des sept autres régions ne subissent aucun changement. Il en est ainsi parce que le modèle endogénise la production locale de services qui est reliée de façon linéaire à la production de biens commercialisables dans chaque région.

Une partie de la demande finale, tout comme la demande intermédiaire, étant fournie par des importations internationales, on a été amené à distinguer la demande finale globale F_i^k de la demande finale domestique H_i^k. Dans cette dernière, on ne garde que la portion de la demande finale globale qui est satisfaite par une production domestique canadienne. On a alors utilisé l'équation suivante:

$$H_i^k = F_i^k \, (1-w_i^{kN}) \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ i = 1,\ldots,R \end{matrix} \qquad (76)$$

où w_i^{kN} est un coefficient d'importation.

Pour faire ressortir les liaisons technologiques et les fuites vers les autres provinces, il paraît alors préférable de travailler sur la demande finale domestique H_i^k, afin d'éliminer les fuites vers l'étranger au niveau de l'impact initial. Si on travaille avec les demandes finales globales F_i^k, il faudrait évidemment considérer ce facteur supplémentaire dans l'explication des multiplicateurs régionaux. On peut d'ailleurs mesurer directement les fuites vers l'étranger au niveau de l'impact initial en regardant les coefficients d'importation qui sont présentés pour le Québec à l'annexe 7. De plus, si on divise par $(1-w_i^{kN})$ les multiplicateurs obtenus à partir d'une modification de la demande finale domestique, on retrouve les multiplicateurs plus généraux où l'on ne distingue pas la source d'approvisionnement pour l'impact initial. Ajoutons que cette procédure n'implique nullement qu'au niveau indirect de l'approvisionnement des inputs intermédiaires, il n'y aura pas de fuites vers l'étranger.

La formulation du problème sous forme de programme mathématique avec des critères d'arrêt sur la faisabilité des contraintes ne nous permet pas d'introduire une modification de un dollar comme tel. Les unités dans lesquelles sont écrites les données du programme étant des milliers de dollars et les critères d'arrêt internes et externes étant de 0,0001, même une modification de mille dollars ne sera pas toujours suffisante lorsqu'on sait que l'ensemble des flux représente une valeur de 85 milliards de dollars. Pour chacun des 88 problèmes différents, on a donc introduit une augmentation initiale de cent milliers de dollars pour le bien dont la demande finale change, et on ramène par

la suite les résultats par dollar d'impact initial. Le tableau 31 indique le multiplicateur d'output pour l'ensemble du Canada suite à une modification dans la demande finale domestique au Québec pour le bien # 149 (Produits manufacturés divers), selon que la modification initiale est plus ou moins importante. On constate qu'au delà d'un certain seuil, l'impact est relativement stable, alors qu'en deçà de ce seuil, les critères d'arrêt sont trop peu sévères pour amener un changement dans la solution du programme mathématique. Ces résultats sont obtenus avec un critère d'arrêt de 0,0001. Avec un critère moins sévère, il faut élever le seuil en deçà duquel aucun effet n'apparaît.

TABLEAU 31

Multiplicateur d'output - Canada (impact initial au Québec)
Produits manufacturés divers[1]

Variation de la demande finale domestique (milliers de dollars)	Variation de la production totale (milliers de dollars)	Multiplicateur
1 000	0	0
10 000	19 623	1,962
100 000	201 636	2,016
1 000 000	2 015 666	2,016
10 000 000	20 244 060	2,024
100 000 000	200 044 754	2,000

1. Le critère d'arrêt interne et externe est de 0,0001.

Précisons maintenant que les multiplicateurs sont de type I, selon la nomenclature acceptée des multiplicateurs input-output[1]. C'est donc dire qu'on considère les effets directs et les effets indirects de support industriel, mais qu'on ne considère pas les effets induits par l'augmentation de revenu des ménages. On ne retrouve en effet pas la structure de consommation des ménages dans le programme mathématique TOMM-2. Etant donné la production obtenue en résolvant le programme avec de nouvelles demandes finales, on calcule les revenus des ménages qui en découlent vu l'utilisation de leurs services dans la production des différents biens et services. Pour avoir des multiplicateurs de type II qui ajoutent aux effets directs et indirects, les effets induits par l'augmentation de revenus des ménages, il faudrait ajouter aux contraintes comptables (87) des contraintes comptables sur la consommation des ménages. Cela est sans doute possible, mais n'a pas été fait dans la présente recherche. En fait, les ménages pourraient être traités de façon analogue aux services non-commercialisables qui sont produits et consommés à l'intérieur de chaque région selon l'hypothèse du modèle. Il faudrait donc recalculer toute une série de coefficients α_i^{kh} et de demande finale globale ψ_i^k qui tiendraient compte des effets induits et donneraient des multiplicateurs correspondant au cas où le modèle est fermé sur les ménages.

Finalement, il faudrait souligner que la contrainte (91) sur le total des flux interrégionaux disparaît dans une telle application.

---

1. Voir Richardson (1972) et Jensen et West (1982), à ce sujet.

Cette contrainte découle de la justification probabiliste des modèles entropiques et d'information. Mais, lorsqu'on modifie les demandes finales, la valeur T doit être rajustée. En effet, les demandes finales déterminent cette valeur à moins de un pour cent près. Par exemple, dans l'application du modèle TOMM-2 à partir des moindres carrés ordinaires et sans contrainte d'offre, le flux total estimé n'est que de 0,9% inférieur au flux total observé, même si on n'ajoute pas la contrainte (91). Cet écart de moins de un pour cent semble donc justifier une approche qui consiste à laisser le modèle déterminer lui-même la valeur T lorsque les demandes finales sont modifiées.

8.2.2 Les multiplicateurs d'output

Avant de discuter des résultats, il est nécessaire de préciser leur signification économique. Cette augmentation de la production ne correspond pas à une augmentation du produit intérieur brut. Comme le souligne Truchon (1975), dans un modèle intersectoriel ouvert où les revenus des ménages n'induisent pas une augmentation de la production, la hausse du produit intérieur brut est égal à l'accroissement initial de la demande finale. Il ne faut donc pas associer les multiplicateurs présentés ici, à des multiplicateurs de type keynésien. Comme on calcule des multiplicateurs différents pour chaque bien et service, l'intérêt des résultats est de faire ressortir le niveau des liens intersectoriels et, surtout, la répartition géographique des effets directs et indirects. Dans tous les cas, l'impact initial se fait au Québec, alors que la répartition entre le Québec, le reste du Canada et les importations peut varier considérablement d'un bien à l'autre.

Pour tenter de dégager certaines régularités dues au type de biens, on considère les cinq grandes catégories suivantes:

- aliments et boissons (# 1 à # 31);
- matières premières brutes (# 40 à # 81);
- produits semi-transformés (# 90 à # 131);
- produits finis (# 140 à # 149);
- services (# 200 à # 263).

Le tableau 32 présente l'impact sur l'output total de biens commercialisables et services, d'une augmentation de un dollar de la demande finale domestique au Québec pour chacun des 88 biens et services. Rappelons qu'on entend par domestique une demande finale qui est satisfaite en entier par les secteurs productifs canadiens. L'impact est ventilé selon qu'il se produit au Québec ou dans le reste du Canada, puis on donne l'impact total pour le Canada, les importations qui sont induites par cette augmentation de la demande finale et le total de l'impact au Canada et des importations induites.

On constate d'abord que les multiplicateurs n'ont pas été calculés pour le bien # 112 (Coke) qui est importé de l'étranger en totalité par le Québec. La demande finale H_i^k n'est donc pas modifiée et il est impossible de calculer les multiplicateurs.

Si on regarde l'effet global (Canada plus importations), on remarque que les matières premières et les services induisent moins d'effets comparativement aux produits finis et semi-finis. Il n'est cependant pas possible de discriminer laquelle de ces deux dernières catégories

induit, de façon générale, le plus d'effets directs et indirects. Par ailleurs, les aliments et boissons ont un comportement un peu irrégulier avec des biens (# 11, # 13, # 20) qui ont des effets très forts, et d'autres (# 14, # 30) qui ont des effets très faibles.

Si on enlève les importations et on regarde l'effet au Canada seulement, cela ne change pas beaucoup les conclusions. Evidemment, les services, les aliments et boissons et les matières premières bénéficient le plus de cette exclusion puisqu'ils induisent moins d'importations. Les produits semi-finis induisent un peu plus d'importations (à l'exception du secteur du bois et des pâtes et papiers, # 90 à 96), de même que les produits finis. Il y a évidemment deux cas extrêmes, les biens # 110 (essence) et # 111 (mazout) qui importent une grande partie de leur input intermédiaire principal, le pétrole brut.

Lorsqu'on regarde ce qui reste comme effet au Québec, la situation peut varier grandement entre les biens, quelle que soit la catégorie considérée. Il y a évidemment une exception à cela, ce sont les services dont l'effet demeure essentiellement à l'intérieur du Québec. Pour les autres biens, on retrouve, par exemple, un bien (# 61 , pétrole brut) dont l'effet au Québec est évidemment nul.

Il est plus intéressant de regarder le tableau 33 pour se faire une idée des fuites vers l'étranger et vers le reste du Canada, que subit le Québec suite à une augmentation de sa demande finale. Le pourcentage de ce qui reste au Québec va de zéro pour-cent (pétrole brut, # 61) à 99.7 pour-cent pour le service # 219 (transport par pipeline). En fait, tous

les services laissent la plus grande part de leur effet au Québec, soit plus de 85% pour vingt d'entre eux, les quatre autres se situant entre 76,9 et 78,8%. Quelques biens commercialisables seulement s'approchent de cette performance, dont deux sont au-dessus de 75%, soit le bien 71 (sable et gravier) avec 75,9%, et le bien 50 (minerais et concentrés de fer) avec 78,3%. Mais encore là, à l'exception des services, il n'est pas possible de caractériser les fuites par rapport à la catégorie auquelle appartient le bien. A l'intérieur de chacune, on retrouve des cas extrêmes. Le tableau 33 confirme également ce qu'on a déjà noté au niveau des importations induites, soit que les produits finis et semi-finis induisent plus d'importations et qu'il y a des cas extrêmes où leur proportion des effets globaux atteint plus de 43% (biens # 110 et # 111).

TABLEAU 32

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Aliments et boissons					
1- Animaux vivants	0,80	1,29	2,09	0,15	2,25
11- Produits de la viande	0,96	1,56	2,52	0,13	2,66
12- Poissons et produits	0,46	1,69	2,15	0,15	2,30
13- Produits laitiers oeufs, miel	1,17	1,33	2,50	0,16	2,66
14- Blé	0,02	1,38	1,40	0,04	1,44
15- Autres céréales	0,14	1,63	1,77	0,11	1,88
16- Farine de blé	0,77	1,36	2,13	0,12	2,25
17- Produits céréaliers, autres	1,01	1,06	2,07	0,12	2,19
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,76	1,24	2,00	0,15	2,15
19- Sucre, mélasse, sirop	0,81	0,90	1,71	0,11	1,82
20- Aliments pour animaux	0,55	1,75	2,29	0,21	2,50
21- Breuvages	1,40	0,51	1,91	0,12	2,03
22- Tabac	0,65	1,60	2,25	0,10	2,35
30- Graines oléagineuses	0,05	1,44	1,49	0,06	1,55
31- Animaux et végétaux bruts	0,35	1,61	1,96	0,12	2,08
Matières premières brutes					
40- Bois et copeaux à pâte	1,28	0,49	1,76	0,11	1,87

Note: les erreurs d'arrondi expliquent les différences possibles dans les totaux.

TABLEAU 32 (suite)

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Matières premières brutes (suite)					
41- Billots, poteaux et autres	1,25	0,56	1,82	0,11	1,93
50- Minerai et concentrés de fer	1,64	0,27	1,91	0,18	2,09
51- Autres minerais métalliques	0,26	1,29	1,54	0,09	1,63
60- Charbon	0,13	1,79	1,92	0,18	2,10
61- Pétrole brut	0,00	1,59	1,59	0,02	1,61
62- Gaz naturel	0,01	1,59	1,60	0,02	1,62
70- Amiante brute	1,01	0,60	1,61	0,11	1,72
71- Sable et gravier	1,37	0,31	1,68	0,13	1,81
72- Gypse	0,07	1,53	1,60	0,12	1,72
73- Autres produits des mines	1,04	0,62	1,66	0,13	1,79
74- Sel	0,04	1,56	1,60	0,10	1,70
75- Soufre brut et raffiné	0,75	1,03	1,79	0,13	1,92
76- Rebuts et ferrailles	1,35	0,56	1,90	0,13	2,03
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	0,24	2,06	2,30	0,17	2,47
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,44	1,34	1,78	0,24	2,02
Produits semi-transformés					
90- Sciage et bois d'oeuvre	1,09	0,84	1,93	0,12	2,05

TABLEAU 32 (suite)

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Produits semi-transformés (suite)					
91- Placages et contre-plaqués	0,43	1,60	2,03	0,14	2,17
92- Autres produits du bois	1,29	0,69	1,98	0,16	2,14
93- Pâte de bois	0,81	1,08	1,89	0,12	2,01
94- Papier journal	1,18	0,71	1,89	0,12	2,02
95- Autres papiers	0,81	1,10	1,91	0,12	2,03
96- Cartons, papiers de construction	0,78	1,10	1,88	0,13	2,01
100- Acide sulphurique	0,38	1,58	1,96	0,20	2,16
101- Produits chimiques industriels	0,38	1,55	1,93	0,23	2,16
102- Autres produits chimiques	0,38	1,56	1,94	0,20	2,14
103- Engrais chimiques	0,54	1,39	1,93	0,21	2,14
110- Essence	1,00	0,31	1,31	1,01	2,32
111- Mazout	0,88	0,42	1,30	1,02	2,32
112- Coke	-	-	-	-	-
113- Gaz liquéfiés	0,03	1,91	1,93	0,14	2,07
114- Autres produits du pétrole	0,65	0,93	1,58	0,72	2,30
120- Produits du fer et de l'acier	0,35	1,47	1,82	0,22	2,04
121- Produits de l'aluminium	0,72	1,36	2,07	0,26	2,33

TABLEAU 32 (suite)

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Produits semi-transformés (suite)					
122- Produits du cuivre et alliages	0,50	1,70	2,20	0,23	2,42
123- Autres métaux non-ferreux	0,46	1,49	1,95	0,22	2,16
124- Produits métalliques	0,72	1,12	1,84	0,22	2,06
130- Ciment	1,05	0,75	1,80	0,14	1,94
131- Produits minéraux non-métalliques	0,90	0,91	1,81	0,17	1,98
Produits finis					
140- Machines industrielles	0,78	1,00	1,78	0,24	2,02
141- Machines agricoles	0,93	0,77	1,70	0,24	1,94
142- Voitures particulières	0,20	1,46	1,66	0,45	2,11
143- Véhicules utilitaires	0,29	1,38	1,67	0,42	2,09
144- Pièces pour automobiles	0,36	1,37	1,74	0,34	2,08
145- Autres matériels de transport	0,98	0,76	1,74	0,38	2,11
146- Autres équipements manufacturiers	0,56	1,24	1,80	0,22	2,01
147- Objets personnels et ménagers	0,95	0,87	1,82	0,22	2,04
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	0,80	1,17	1,96	0,17	2,13
149- Produits manufacturés divers	1,25	0,76	2,02	0,27	2,28

TABLEAU 32 (suite)

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Services					
200- Services aux. (ind. primaires)	1,55	0,27	1,82	0,14	1,96
201- Construction et réparation	1,45	0,29	1,74	0,15	1,88
202- Construction résidentielle	1,45	0,29	1,74	0,15	1,88
203- Construction non-résidentielle	1,45	0,29	1,74	0,15	1,89
210- Transport aérien	1,60	0,13	1,73	0,15	1,88
211- Autres moyens de transport	1,54	0,10	1,64	0,08	1,72
212- Services auxiliaires (transport)	1,57	0,10	1,68	0,08	1,76
213- Transport maritime	1,92	0,15	2,07	0,16	2,23
214- Services aux. (transp. maritime)	1,90	0,17	2,07	0,16	2,23
215- Transport ferroviaire	1,51	0,12	1,63	0,10	1,72
216- Transport par camions	1,44	0,09	1,53	0,11	1,64
217- Transport interurbain par bus	1,46	0,09	1,55	0,09	1,64
218- Transport urbain et taxis	1,23	0,04	1,27	0,06	1,34
219- Transport par pipe-line	1,01	0,00	1,01	0,00	1,01
220- Entreposage	1,33	0,06	1,39	0,06	1,46
221- Marges de transport	2,52	0,11	2,63	0,11	2,74
230- Radio, T.V., téléphone, télégraphe	1,27	0,06	1,32	0,03	1,35

TABLEAU 32 (suite)

Multiplicateurs d'output: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Total Canada	Importations	Canada plus importations
Services (suite)					
231- Services postaux	1,27	0,06	1,32	0,03	1,35
240- Electricité	1,24	0,06	1,30	0,03	1,33
241- Autres utilités (gaz, eau)	1,44	0,08	1,52	0,07	1,59
250- Marges de commerce (gros, détail)	1,29	0,07	1,36	0,04	1,40
261- Finance, assurance, immobilier	1,36	0,06	1,41	0,03	1,44
262- Services personnels et d'affaires	1,49	0,15	1,65	0,07	1,72
263- Services d'éducation et de santé	1,26	0,07	1,33	0,04	1,37

TABLEAU 33

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec (en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	35,8	57,4	6,9
11- Produits de la viande	36,2	58,8	5,0
12- Poissons et produits	20,0	73,5	6,6
13- Produits laitiers oeufs, miel	43,9	50,1	6,0
14- Blé	1,6	95,3	3,1
15- Autres céréales	7,7	86,6	5,6
16- Farine de blé	34,4	60,4	5,2
17- Produits céréaliers, autres	46,3	48,3	5,4
18- Fruits, légumes, autres aliments	35,2	57,8	7,0
19- Sucre, mélasse, sirop	44,5	49,2	6,3
20- Aliments pour animaux	21,9	69,9	8,4
21- Breuvages	69,2	25,1	5,7
22- Tabac	27,5	68,2	4,3
30- Graines oléagineuses	3,0	93,1	3,9
31- Animaux et végétaux bruts	17,0	77,2	5,8
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	68,2	26,1	5,8

Note: le total n'est pas nécessairement égal à 100% à cause des erreurs d'arrondi.

TABLEAU 33 (suite)

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec (en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	65,0	29,2	5,8
50- Minerai et concentrés de fer	78,3	12,8	8,9
51- Autres minerais métalliques	15,8	79,0	5,2
60- Charbon	5,9	85,3	8,7
61- Pétrole brut	0	98,9	1,1
62- Gaz naturel	0,7	98,0	1,4
70- Amiante brute	58,8	35,1	6,2
71- Sable et gravier	75,9	17,1	7,0
72- Gypse	4,0	89,0	7,0
73- Autres produits des mines	58,0	34,8	7,2
74- Sel	2,3	91,7	6,0
75- Soufre brut et raffiné	39,2	53,9	6,9
76- Rebuts et ferrailles	66,3	27,4	6,3
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	9,6	83,6	6,8
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	22,0	66,3	11,7
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	53,3	41,0	5,6

TABLEAU 33 (suite)

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec
(en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	20,0	73,5	6,5
92- Autres produits du bois	60,2	32,2	7,6
93- Pâte de bois	40,5	53,7	5,8
94 Papier journal	58,6	35,3	6,1
95- Autres papiers	39,7	54,2	6,1
96- Cartons, papiers de construction	38,8	54,9	6,3
100- Acide sulphurique	17,4	73,1	9,5
101- Produits chimiques industriels	17,6	71,8	10,6
102- Autres produits chimiques	17,6	72,9	9,5
103- Engrais chimiques	25,4	64,9	9,7
110- Essence	43,2	13,3	43,5
111- Mazout	38,0	18,0	44,1
112- Coke	-	-	-
113- Gaz liquéfiés	1,4	92,1	6,7
114- Autres produits du pétrole	28,4	40,3	31,3
120- Produits du fer et de l'acier	17,1	71,9	11,0
121- Produits de l'aluminium	30,7	58,3	11,1

TABLEAU 33 (suite)

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec
(en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	20,6	70,1	9,4
123- Autres métaux non-ferreux	21,1	68,9	10,1
124- Produits métalliques	34,9	54,6	10,5
130- Ciment	54,0	38,7	7,2
131- Produits minéraux non-métalliques	45,5	46,2	8,3
Produits finis			
140- Machines industrielles	38,8	49,5	11,7
141- Machines agricoles	48,0	39,9	12,1
142- Voitures particulières	9,7	69,1	21,2
143- Véhicules utilitaires	13,8	66,1	20,1
144- Pièces pour automobiles	17,5	66,0	16,5
145- Autres matériels de transport	46,4	35,9	17,8
146- Autres équipements manufacturiers	27,7	61,5	10,8
147- Objets personnels et ménagers	46,6	42,4	11,0
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	37,3	54,8	7,9
149- Produits manufacturés divers	54,9	33,4	11,7

TABLEAU 33 (suite)

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec
(en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Services			
200- Services aux. (ind. primaires)	78,8	13,9	7,3
201- Construction et réparation	76,9	15,3	7,8
202- Construction résidentielle	76,9	15,3	7,8
203- Construction non-résidentielle	76,9	15,2	7,9
210- Transport aérien	85,2	6,9	8,0
211- Autres moyens de transport	89,6	5,6	4,8
212- Services auxiliaires (transport)	89,3	5,9	4,8
213- Transport maritime	86,3	6,5	7,2
214- Services aux. (transp. maritime)	85,2	7,4	7,4
215- Transport ferroviaire	87,5	6,7	5,7
216- Transport par camions	87,6	5,7	6,7
217- Transport interurbain par bus	89,2	5,6	5,3
218- Transport urbain et taxis	92,1	3,1	4,8
219- Transport par pipe-line	99,7	0,2	0,1
220- Entreposage	91,6	4,2	4,2
221- Marges de transport	91,8	4,0	4,2
230- Radio, T.V., téléphone, télégraphe	93,4	4,1	2,5

TABLEAU 33 (suite)

Répartition des effets directs et indirects: impact initial au Québec (en pourcentage)

Bien	Québec	Reste du Canada	Importations
Services (suite)			
231- Services postaux	93,4	4,1	2,5
240- Electricité	93,5	4,2	2,3
241- Autres utilités (gaz, eau)	90,3	5,3	4,3
250- Marges de commerce (gros, détail)	92,1	5,4	2,6
261- Finance, assurance, immobilier	95,7	4,0	2,4
262- Services personnels et d'affaires	87,0	9,0	4,0
263- Services d'éducation et de santé	91,6	5,2	3,2

8.2.3 Les multiplicateurs de revenus

Voyons maintenant quel est l'impact sur les revenus salariaux et sur les revenus des entreprises non-incorporées, d'une augmentation d'un dollar de la demande finale domestique au Québec pour chacun des 88 biens et services. Il s'agit ici de relier par des coefficients les revenus, et les niveaux de production obtenus précédemment en modifiant la demande finale domestique H_i^k. Quatre postes de rémunération des facteurs primaires sont considérés, soit:

- salaire et traitements (# 283);
- revenus supplémentaires du travail (# 284);
- revenu net des entreprises individuelles (# 285);
- autre excédent d'exploitation (# 286).

Il faut d'abord noter que le multiplicateur est calculé par rapport au dollar initial dépensé pour la consommation finale, et non par rapport aux coefficients directs d'emploi pour produire ce bien, comme on le fait parfois (voir Richardson, 1972). Ce dernier rapport entre l'impact après la prise en compte des effets directs et indirects et l'impact initial, n'est pas très significatif puisqu'un rapport élevé peut correspondre à un effet réel très faible en termes de revenu.

Les résultats sont au tableau 34. On note d'abord qu'encore là les fuites hors du Québec peuvent être très importantes et qu'il n'y a pas de comportements caractéristiques aux cinq grandes catégories de biens et services. La proportion de ce qui reste au Québec est assez semblable à ce qui a été calculé pour les multiplicateurs d'output.

Par contre, si l'effet global pour le Canada est en partie relié à l'effet global sur la production, il y a quand même certaines variations. On peut s'en rendre compte en examinant le ratio obtenu en divisant le multiplicateur de revenu pour le Canada qu'on vient d'obtenir, au multiplicateur d'output pour le Canada qu'on retrouvait au tableau 32. On constate que l'effet relatif au revenus par rapport à la production est particulièrement prononcé pour la catégorie des services et qu'il y a des variations très grandes entre, par exemple, le "transport par pipeline" (# 219) où le rapport est presque nul et le "transport urbain et taxis" (# 218) où le rapport est de 0,63.

TABLEAU 34

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Aliments et boissons					
1- Animaux vivants	0,31	0,35	0,66	46,8	0,32
11- Produits de la viande	0,19	0,41	0,60	31,5	0,24
12- Poissons et produits	0,11	0,47	0,58	19,6	0,27
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,27	0,35	0,62	43,6	0,25
14- Blé	0,01	0,68	0,69	0,8	0,49
15- Autres céréales	0,04	0,54	0,58	6,7	0,31
16- Farine de blé	0,20	0,39	0,59	33,7	0,33
17- Produits céréaliers, autres	0,26	0,30	0,56	46,1	0,27
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,15	0,29	0,44	34,0	0,22
19- Sucre, mélasse, sirop	0,14	0,18	0,32	42,7	0,19
20- Aliments pour animaux	0,12	0,36	0,48	24,4	0,21
21- Breuvages	0,35	0,12	0,37	74,2	0,21
22- Tabac	0,15	0,33	0,48	31,1	0,21
30- Graines oléagineuses	0,01	0,65	0,66	1,4	0,44
31- Animaux et végétaux bruts	0,09	0,48	0,57	16,3	0,29
Matières premières brutes					
40- Bois et copeaux à pâte	0,48	0,12	0,60	79,3	0,34

Note: les erreurs d'arrondi expliquent les différences possibles dans les totaux.

TABLEAU 34 (suite)

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Matières premières brutes (suite)					
41- Billots, poteaux et autres	0,48	0,15	0,63	75,4	0,35
50- Minerai et concentrés de fer	0,53	0,06	0,59	89,1	0,31
51- Autres minerais métalliques	0,10	0,28	0,38	25,9	0,24
60- Charbon	0,02	0,72	0,74	2.7	0,39
61- Pétrole brut	0,0	0,20	0,20	0,1	0,13
62- Gaz naturel	0,04	0,21	0,25	16,2	0,15
70- Amiante brute	0,28	0,16	0,44	64,5	0,27
71- Sable et gravier	0,40	0,08	0,48	84,4	0,28
72- Gypse	0,01	0,43	0,44	3,2	0,20
73- Autres produits des mines	0,31	0,18	0,49	64,1	0,29
74- Sel	0,01	0,42	0,43	1,7	0,27
75- Soufre brut et raffiné	0,19	0,16	0,35	53,9	0,20
76- Rebuts et ferrailles	0,39	0,15	0,54	71,8	0,28
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	0,03	0,49	0,52	5,6	0,23
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,10	0,37	0,47	21,6	0,26
Produits semi-transformés					
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,32	0,24	0,56	57,4	0,29

TABLEAU 34 (suite)

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Produits semi-transformés (suite)					
91- Placages et contre-plaqués	0,13	0,48	0,61	21,1	0,31
92- Autres produits du bois	0,35	0,19	0,54	64,9	0,27
93- Pâte de bois	0,21	0,25	0,45	45,3	0,24
94- Papier journal	0,30	0,17	0,47	65,0	0,25
95- Autres papiers	0,21	0,26	0,47	43,8	0,25
96- Cartons, papiers de construction	0,19	0,27	0,46	41,8	0,24
100- Acide sulphurique	0,09	0,34	0,43	21,9	0,22
101- Produits chimiques industriels	0,09	0,34	0,42	20,7	0,22
102- Autres produits chimiques	0,09	0,35	0,45	20,9	0,23
103- Engrais chimiques	0,15	0,31	0,45	32,4	0,24
110- Essence	0,04	0,05	0,09	45,0	0,07
111- Mazout	0,02	0,06	0,08	23,6	0,06
112- Coke	-	-	-	-	-
113- Gaz liquéfiés	0,01	0,19	0,20	4,5	0,10
114- Autres produits du pétrole	0,02	0,15	0,17	13,5	0,11
120- Produits du fer et de l'acier	0,08	0,39	0,47	16,7	0,26
121- Produits de l'aluminium	0,09	0,29	0,38	23,4	0,19

TABLEAU 34 (suite)

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Produits semi-transformés (suite)					
122- Produits du cuivre et alliages	0,05	0,35	0,40	12,4	0,18
123- Autres métaux non-ferreux	0,06	0,34	0,40	14,3	0,21
124- Produits métalliques	0,22	0,30	0,52	41,7	0,28
130- Ciment	0,28	0,20	0,48	58,6	0,27
131- Produits minéraux non-métalliques	0,25	0,24	0,49	51,0	0,27
Produits finis					
140- Machines industrielles	0,26	0,27	0,53	49,1	0,29
141- Machines agricoles	0,33	0,22	0,55	60,4	0,32
142- Voitures particulières	0,05	0,33	0,38	14,3	0,23
143- Véhicules utilitaires	0,08	0,33	0,41	20,1	0,24
144- Pièces pour automobiles	0,10	0,34	0,44	23,8	0,25
145- Autres matériels de transport	0,27	0,19	0,46	58,6	0,27
146- Autres équipements manufacturiers	0,18	0,35	0,52	34,1	0,29
147- Objets personnels et ménagers	0,28	0,24	0,52	54,2	0,29
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	0,21	0,29	0,50	41,9	0,26
149- Produits manufacturés divers	0,22	0,18	0,40	54,9	0,20

TABLEAU 34 (suite)

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Services					
200- Services aux. (ind. primaires)	0,54	0,07	0,61	88,8	0,34
201- Construction et réparation	0,50	0,07	0,57	87,0	0,33
202- Construction résidentielle	0,50	0,07	0,57	87,0	0,33
203- Construction non-résidentielle	0,50	0,07	0,57	87,0	0,33
210- Transport aérien	0,64	0,03	0,67	95,8	0,39
211- Autres moyens de transport	0,61	0,02	0,63	96,6	0,38
212- Services auxiliaires (transport)	0,59	0,02	0,61	96,2	0,36
213- Transport maritime	0,54	0,03	0,57	94,3	0,28
214- Services aux. (transp. maritime)	0,53	0,04	0,57	93,5	0,27
215- Transport ferroviaire	0,78	0,03	0,81	96,6	0,50
216- Transport par camions	0,61	0,02	0,63	96,6	0,41
217- Transport interurbain par bus	0,58	0,02	0,60	96,5	0,39
218- Transport urbain et taxis	0,80	0,01	0,81	98,9	0,63
219- Transport par pipe-line	0,004	0,001	0,005	89,2	0,0
220- Entreposage	0,36	0,01	0,37	96,3	0,27
221- Marges de transport	0,65	0,03	0,67	96,2	0,26
230- Radio, T.V., téléphone, télégraphe	0,62	0,01	0,63	97,8	0,48

TABLEAU 34 (suite)

Multiplicateurs de revenus: impact initial au Québec

	Québec	Reste du Canada	Canada	% du Québec	revenus ÷ output (Canada)
Services (suite)					
231- Services postaux	0,62	0,01	0,63	97,8	0,48
240- Electricité	0,29	0,01	0,30	95,6	0,23
241- Autres utilités (gaz, eau)	0,40	0,02	0,42	95,4	0,21
250- Marges de commerce (gros, détail)	0,53	0,02	0,55	96,7	0,40
261- Finance, assurance, immobilier	0,36	0,01	0,37	96,3	0,26
262- Services personnels et d'affaires	0,44	0,04	0,48	92,0	0,29
263- Services d'éducation et de santé	0,81	0,02	0,83	97,9	0,62

8.3 L'importance des coûts de transport dans la répartition de l'activité économique

Une façon simple de voir quelle importance donne le modèle aux coûts de transport dans la répartition de l'activité économique, consiste à fixer à zéro les coûts de transport pour tous les flux originant d'une province. A tour de rôle, pour chacune des huit régions, on a donc baissé de 100% les coûts de transport pour tous les biens qui en sortent et on a calculé à partir des résultats de 64 régressions estimées par moindres carrés, de nouveaux flux a priori. On resolutionne le programme mathématique huit fois, les flux a priori d'une seule province étant modifiés à chaque reprise.

Les résultats du tableau 35 indiquent d'abord que la production totale du Canada ne change pas suite à ce genre de scénario. On a déjà souligné qu'elle est déterminée par les demandes finales qui ne changent pas ici. L'augmentation des flux a priori pour la province qui connaît une baisse des coûts de transport, provoque une hausse de sa production qui est compensée par une baisse à peu près équivalente dans les autres provinces.

La différence peu significative entre les deux montants semble due à des problèmes numériques au niveau de la résolution du problème et au niveau des approximations que peut impliquer le calcul des différents coefficients. En valeur, le déplacement de production vers la province dont les coûts de transport sont éliminés, oscille autour de deux milliards de dollars, sauf pour Terre-Neuve qui n'augmente sa production que d'un milliard de dollars. L'effet relatif à chaque province varie

encore plus, puisqu'il peut aller de 26,2% pour Terre-Neuve à 2,0% pour l'Ontario.

Face à un scénario aussi radical où les coûts de transport sont éliminés pour tout ce qui sort d'une province, l'effet en pourcentage et en valeur peut sembler assez faible. Cela s'explique d'abord par la prépondérance des services sur les biens commercialisables, les premiers n'étant pas affectés par cette baisse des coûts de transport. Par ailleurs, même dans les biens commercialisables, il y en a 69,5% qui sont produits et consommés à l'intérieur de la même région. Encore là, la baisse des coûts de transport n'a pas d'effet puisqu'on a fixé le coût de transport intrarégional à zéro.

TABLEAU 35

Variation de la production suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant d'une province

Province où les coûts de transport sont éliminés	Variation dans la province en valeurs (milliers de dollars) et en pourcentage	Variation dans le reste du Canada en valeurs (milliers de dollars) et en pourcentage
Terre-Neuve	1 005 445 (26,2)	-969 926 (-0,4)
Maritimes	2 306 559 (18,4)	-2 288 737 (-1,0)
Québec	2 732 522 (4,8)	-2 648 856 (-1,5)
Ontario	1 950 645 (2,0)	-1 874 561 (-1,3)
Manitoba	2 192 227 (21,0)	-1 994 441 (-0,9)
Saskatchewan	1 961 756 (19,5)	-1 943 419 (-0,8)
Alberta	2 206 370 (9,1)	-2 085 710 (-1,0)
Colombie-Britannique	2 668 708 (11,6)	-2 805 585 (-1,3)

Finalement, le tableau 36 présente des résultats plus détaillés pour l'un des scénarios présentés au tableau 35, celui où les coûts de transport pour tout ce qui sort du Québec seulement sont ramenés à zéro. Que ce soit en valeur, en pourcentage d'augmentation par rapport à la production québécoise, ou en pourcentage par rapport à la production canadienne, l'impact de cette mesure peut être très différent d'un bien à l'autre. Les "produits manufacturés divers" (# 149) et les "autres équipements manufacturiers" (# 146) connaissent la plus forte hausse en valeurs, soit plus de 200 millions de dollars. Par contre, en termes relatifs par rapport à la production québécoise initiale, la palme revient aux "poissons et produits" (# 12) qui font plus que doubler leur production. A l'opposé , pour plusieurs biens, l'impact est nul ou négligeable, tant en valeurs qu'en termes relatifs.

TABLEAU 36

Augmentation de la production par bien suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant du Québec

	Augmentation (milliers de dollars)	Pourcentage d'augmentation	Pourcentage par rapport à la prod. canadienne
Aliments et boissons			
1- Animaux vivants	34 312	7,8	1.1
11- Produits de la viande	89 639	16,2	2,2
12- Poissons et produits	34 252	132,4	7,7
13- Produits laitiers oeufs, miel	75 894	6,3	2,4
14- Blé	502	3,3	0,1
15- Autres céréales	5 318	25,1	1,3
16- Farine de blé	6 000	13,0	2,6
17- Produits céréaliers, autres	38 525	12,8	2,9
18- Fruits, légumes, autres aliments	112 711	17,1	3,6
19- Sucre, mélasse, sirop	32 982	13,2	5,0
20- Aliments pour animaux	34 426	8,6	2,4
21- Breuvages	16 356	4,0	1,1
22- Tabac	21 930	6,4	2,7
30- Graines oléagineuses	0,0	0,0	0,0
31- Animaux et végétaux bruts	13 811	46,7	5,5
Matières premières brutes			
40- Bois et copeaux à pâte	17 501	4,5	1,4

TABLEAU 36 (suite)

Augmentation de la production par bien suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant du Québec

	Augmentation (milliers de dollars)	Pourcentage d'augmentation	Pourcentage par rapport à la prod. canadienne
Matières premières brutes (suite)			
41- Billots, poteaux et autres	15 749	9,7	1,3
50- Minerai et concentrés de fer	0,0	0,0	0,0
51- Autres minerais métalliques	7 555	3,4	0,4
60- Charbon	0,0	0,0	0,0
61- Pétrole brut	0,0	0,0	0,0
62- Gaz naturel	62	5,3	0,01
70- Amiante brute	615	6,4	5,1
71- Sable et gravier	1 402	3,6	1,0
72- Gypse	52	5,5	0,6
73- Autres produits des mines	2 399	5,6	1,5
74- Sel	23	0,6	0,04
75- Soufre brut et raffiné	100	2,9	0,05
76- Rebuts et ferrailles	480	4,5	0,2
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	4 368	11,3	1,1
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	66 570	9,1	3,9
Produits semi-transformés			
90- Sciage et bois d'oeuvre	43 675	20,8	6,3

TABLEAU 36 (suite)

Augmentation de la production par bien suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant du Quebec

	Augmentation (milliers de dollars)	Pourcentage d'augmentation	Pourcentage par rapport à la prod. canadienne
Produits semi-transformés (suite)			
91- Placages et contre-plaqués	14 660	33,3	4,2
92- Autres produits du bois	15 598	7,5	2,2
93- Pâte de bois	6 518	4,4	2,0
94- Papier journal	7 753	6,4	3,4
95- Autres papiers	20 697	7,4	2,6
96- Cartons, papiers de construction	22 669	8,3	3,6
100- Acide sulphurique	927	30,4	3,6
101- Produits chimiques industriels	30 184	12,6	3,4
102- Autres produits chimiques	74 429	21,3	4,3
103- Engrais chimiques	1 250	6,5	0,5
110- Essence	33 245	5,4	1,8
111- Mazout	66 310	7,2	3,0
112- Coke	0,0	0,0	0,0
113- Gaz liquéfiés	3 571	17,0	2,5
114- Autres produits du pétrole	22 793	13,7	3,7
120- Produits du fer et de l'acier	78 339	10,5	1,9
121- Produits de l'aluminium	20 004	6,6	3,0

TABLEAU 36 (suite)

Augmentation de la production par bien suite à l'élimination des coûts de transport pour tous les flux originant du Québec

	Augmentation (milliers de dollars)	Pourcentage d'augmentation	Pourcentage par rapport à la prod. canadienne
Produits semi-transformés (suite)			
122- Produits du cuivre et alliages	13 412	3,9	1,6
123- Autres métaux non-ferreux	12 234	14,7	2,4
124- Produits métalliques	74 515	13,2	2,9
130- Ciment	6 802	8,2	2,4
131- Produits minéraux non-métalliques	66 666	13,9	3,0
Produits finis			
140- Machines industrielles	109 374	25,0	5,2
141- Machines agricoles	12 861	96,6	8,0
142- Voitures particulières	49 645	36,2	4,7
143- Véhicules utilitaires	36 059	66,4	4,4
144- Pièces pour automobiles	42 988	30,3	3,1
145- Autres matériels de transport	82 197	23,3	6,2
146- Autres équipements manufacturiers	211 466	33,0	6,2
147- Objets personnels et ménagers	191 642	6,6	2,5
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	49 424	9,3	2,4
149- Produits manufacturés divers	241 888	8,8	2,1

CHAPITRE 9

LES FLUX DE MARCHANDISES ENTRE 67 ZONES DU CANADA

9.1 Le problème

Grâce au modèle TOMM-2, on peut donc obtenir les éléments d'une matrice origine-destination au niveau de huit régions. Or, on a insisté dans l'introduction sur l'intérêt d'avoir ces matrices à un niveau spatial plus désagrégé si on veut faire des applications en transport. Il eut cependant été impossible de généraliser TOMM-2 au niveau des 67 zones proposées par le C.I.G.G.T., dont il a été question à ce moment, étant donné l'impossibilité de disposer des données intersectorielles pour un si grand nombre de zones. Par contre, compte tenu de l'importance des relations intersectorielles dans la génération et la distribution des flux de marchandises, il semblait essentiel d'utiliser l'information au niveau où elle était disponible. Une première procédure aurait pu consister à utiliser la même structure intersectorielle pour toutes les zones à l'intérieur d'une région et à écrire le modèle TOMM-2 à ce niveau de désagrégation. Mais ceci augmenterait considérablement la taille du problème et c'est pourquoi cette solution n'a pas été considérée[1].

La procédure proposée ici consiste plutôt à procéder séquentiellement et à obtenir les matrices origine-destination entre les 67 zones du

---

1. Picard, Paskievici et Nguyen (1985) travaillent dans ce sens à partir des données intersectorielles régionales de Statistique Canada pour 1974 et 1979.

Canada, à partir d'une désagrégation des matrices obtenues de TOMM-2. L'approche est basée sur les parts de production et d'attraction des 67 zones pour chacun des 64 biens commercialisables. On apportera ici une légère modification à la notation, qui simplifiera la présentation; on utilisera maintenant les majuscules pour les régions et les minuscules pour les zones à l'intérieur de ces régions. Chaque flux x^k_{IJ} entre deux régions I et J, de bien k, sera ainsi partagé entre les différentes zones comprises dans la région d'origine I et la région de destination J. En l'absence d'autres informations, on pourra utiliser le programme mathématique non-linéaire suivant:

$$\text{Max} - \sum_{i=1}^{Z} \sum_{j=1}^{Z} \sum_{k \in I_1} x^k_{ij} \ln x^k_{ij} \tag{129}$$

$$\text{tel que} \quad \sum_{i=1}^{Z} x^k_{ij} = A^k_j \qquad \begin{matrix} j = 1,\ldots,Z \\ k \in I_1 \end{matrix} \tag{130}$$

$$\sum_{j=1}^{Z} x^k_{ij} = P^k_i \qquad \begin{matrix} i = 1,\ldots,Z \\ k \in I_1 \end{matrix} \tag{131}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x^k_{ij} = x^k_{IJ} \qquad \begin{matrix} k \in I_1 \\ I,J = 1,\ldots,R \end{matrix} \tag{132}$$

$$x^k_{ij} \geq 0 \qquad k \in I_1 \tag{133}$$

où on utilise la notation suivante:

$i,j = 1,\ldots,Z$ représentent les zones du Canada;

$I,J = 1,\ldots,R$ représentent les régions du Canada;

$k = 1,\ldots,K$ représentent les biens et services produits par les secteurs productifs;

I_I est l'ensemble des indices représentant les biens commercialisables;

x_{ij}^k $(i,j = 1,\ldots,Z ; k \in I_1)$ est le flux de bien commercialisable k entre les zones i et j;

x_{IJ}^k $(I,J = 1,\ldots,R ; k \in I_1)$ est le flux de bien commercialisable k entre les régions I et J;

A_j^k $(j = 1,\ldots,Z ; k \in I_1)$ est l'attraction de la zone j pour le bien k;

p_i^k $(i = 1,\ldots,Z ; k \in I_1)$ est la production de la zone i de bien k.

Le problème ici est un simple problème d'entropie à maximiser sujet aux contraintes (130) et (131) qui assurent que la production et l'attraction dans chaque zone sont respectées. On ajoute aussi les contraintes (132), puisqu'on connaît les flux entre chaque région et pour chaque bien, grâce au modèle TOMM-2. L'output de cette procédure ce sont les 287 296 éléments des 64 matrices O-D entre les 67 zones du Canada. La fonction objectif entropique peut sembler trop simple puisqu'elle va tenter de disperser au maximum les flux interzonaux, mais il faut voir que les contraintes réduisent considérablement les choix possible. Il ne s'agit ici que de répartir tout ce qui se déplace entre deux régions, en tenant compte de l'importance relative de la zone d'origine et de la zone de destination dans leurs régions d'appartenance respectives. Rien n'empêche, par ailleurs, d'utiliser une fonction objectif analogue à Wilson et d'avoir une version gravitaire de ce problème. Ceci serait dans une certaine mesure plus réaliste, puisque la formulation entropique ne favorise aucunement deux zones contigues lorsque les régions sont voisines (par exemple, l'Outaouais québécois et la région d'Ottawa située en Ontario, dont les flux seraient sans doute sous-estimés avec le

modèle entropique). Le problème, évidemment, c'est alors d'avoir des observations sur les flux interzonaux, afin de calibrer le modèle. Les seules données de ce type qui sont disponibles, celles du C.I.G.G.T., n'apparaissent pas suffisamment fiables pour qu'on puisse s'en servir pour calibrer un tel modèle. C'est pourquoi, on se contentera de la version entropique du modèle, tout en admettant que la procédure proposée ici ne parvient pas à prendre en compte de façon satisfaisante les coûts de transport entre les zones. A cet égard, l'approche désagrégée proposée par Picard, Paskievici et Nguyen (1985) répond sans doute de façon plus adéquate à ce problème.

Le programme est par ailleurs facilement résolu par un algorithme de balancement analogue à celui proposé pour TOMM-2. Le problème est en fait plus simple parce que c'est un balancement classique avec des coefficients égaux à zéro ou un, et parce que le problème est décomposable par bien en l'absence de contraintes de type input-output.

9.2 Les parts zonales de production et d'attraction

La résolution de TOMM-2 permet d'obtenir les flux entre les régions, x_{IJ}^k, la production P_I^k et l'attraction A_j^k pour chaque région. On obtient ces dernières de la façon suivante:

$$P_I^k = \sum_{J=1}^{R} x_{IJ}^k \qquad k \in I_1 \quad I = 1,\ldots,R \qquad (134)$$

$$A_J^k = \sum_{I=1}^{R} x_{IJ}^k \qquad k \in I_1 \quad J = 1,\ldots,R \qquad (135)$$

Quant aux productions et attractions par zone, P_i^k et A_j^k, on les obtient en trouvant pour chaque zone sa part de la production et de l'attraction de la région dans laquelle elle se trouve. Soit

$$P_i^k = P_I^k \cdot \left(\begin{matrix}\text{la part de la production de} \\ \text{la zone i dans la région I}\end{matrix}\right) \quad \begin{matrix} i = 1,\ldots,Z \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (136)$$

$$A_j^k = A_J^k \cdot \left(\begin{matrix}\text{La part de l'attraction de} \\ \text{la zone j dans la région J}\end{matrix}\right) \quad \begin{matrix} j = 1,\ldots,Z \\ k \in I_1 \end{matrix} \qquad (137)$$

Pour calculer ces parts, il faut donc trouver des données à un niveau de désagrégation suffisant et compatible avec notre propre désagrégation. Il faut, de plus, que ces données correspondent le mieux possible à la production ou à l'attraction des différents biens. Lorsque le bien est assez homogène, on a pu obtenir la production par zone. C'est le cas notamment de certains biens agricoles et miniers, mais dans la plupart des cas, on n'obtient pas directement la production ou l'attraction. Il faut alors trouver des données qui peuvent donner indirectement les parts zonales. Ainsi, l'emploi, dans la mesure où il est relié à la production, a été utilisé pour la plupart des biens manufacturés. Dans le cas de l'attraction, il est encore plus difficile d'avoir des données sur la consommation par zone. Pour les biens de consommation, on a, par exemple, utilisé la population des zones comme mesure de leur part relative.

Il peut, par contre, être difficile de traiter des catégories de biens qui sont très hétérogènes (ex.: # 147, "objets personnels et ménagers"). Il faut alors s'en remettre à des données qui sont au même niveau de généralisation. Ces derniers cas sont heureusement assez limités

selon l'agrégation qui a été retenue et il s'agit alors de biens qui ont moins d'impact sur le réseau de transport. Les biens les plus lourds et les plus volumineux, et qui sont par conséquent plus significatifs quant à leur impact sur l'utilisation du réseau de transport, ont en effet été traités séparément.

En procédant à deux niveaux d'agrégation, on a également diminué la difficulté d'obtenir des données au niveau le plus désagrégé. Il ne s'agit en effet que de répartir entre les zones d'une même région les flux obtenus par le modèle TOMM-2. Lorsqu'on utilise l'emploi comme indice de la production, on fait alors l'hypothèse que la productivité est la même dans toutes les zones qui composent une région. C'est quand même beaucoup moins restrictif que de supposer que la productivité est la même dans toutes les zones du Canada. Utilisées de cette façon, les données sont donc beaucoup plus fiables et les écarts possibles par rapport à la réalité demeurent confinés à ce niveau très désagrégé, sans changer la validité des résultats au niveau des régions. On peut même utiliser des références différentes pour chaque région et considérer une information ad hoc pour l'une d'entre elles.

9.3 Les sources de données

On trouve à l'annexe 8 la liste des 67 zones retenues, leurs centroïdes et la correspondance avec les divisions de recensement de Statistique Canada. L'annexe 9 donne, pour chacun des 64 biens commercialisables, les sources de données qui ont été utilisées pour calculer les parts zonales de production et d'attraction. Nous allons décrire ici brièvement

la nature des informations qui ont été puisées dans les trois sources principales de données utilisées.

1° Le recensement de 1971

On y trouve en particulier des données sur la production agricole par divisions de recensement, et sur la population active selon l'activité économique (industrie) pour les régions métropolitaines de recensement, les agglomérations de recensement et les villes de plus de 10 000 habitants et de plus de 5 000 habitants. Il est alors facile de faire le recoupement entre ces diverses unités géographiques et les 67 zones définies.

2° Le "Canadian Mineral Yearbook, 1974"[1].

Dans plusieurs cas, on y trouve des données sur la production des différents minerais pour chaque mine. Par exemple, pour le pétrole brut, on y donne la production, puits par puits. Il a alors fallu situer chacun des puits dans la zone appropriée, puis faire le total par zone. Il a cependant fallu utiliser la capacité de production de chaque mine lorsque la production n'était pas dévoilée.

3° "Industries manufacturières du Canada: régions infraprovinciales, 1974"[2].

On y trouve la valeur des livraisons de produits de propre fabrication et le coût des matières et fournitures utilisées pour différentes industries et pour 68 régions économiques infraprovinciales. On ne peut

---

1. Energie, Mines et Ressources Canada (1977).

2. Statistique Canada (1976a)

cependant pas utiliser ces données pour certaines industries, puisqu'à cause de la nécessité de respecter la confidentialité des renseignements lorsqu'il y a moins de trois producteurs dans une région, les données par industrie sont incomplètes. On agrège en effet toutes les industries sous le couvert de la confidentialité dans une région, à l'intérieur d'une catégorie générale.

On a finalement puisé certaines informations dans ces références:

- "L'Atlas National du Canada, 1971".
- "Permis de bâtir, Sommaire annuel, 1974" (Statistique Canada, no de cat. 64-203).

Rappelons que l'annexe 9 donne les références exactes pour chacun des 64 biens commercialisables.

9.4 Résultats

Il est donc possible de désagréger à partir de ces informations, les résultats obtenus du modèle TOMM-2 ou toute autre matrice au niveau de huit régions. C'est ce qu'on a fait avec les 64 matrices O-D calculées par la Division de l'Analyse structurelle de Statistique Canada pour 1974 (Gaston, 1979). On ne peut évidemment présenter tous ces résultats, chacune des 64 matrices comptant à elle seule 4 489 éléments. L'appendice 10 donne un exemple de matrice O-D interzonale. Il s'agit de la matrice pour la catégorie de biens "animaux vivants" (# 1). Dans cette annexe, on trouve d'abord la matrice interrégionale observée de départ qu'il s'agit de désagréger. On trouve ensuite les productions et attractions zonales à partir desquelles seront calculées les parts zonales de production et

d'attraction, tel qu'indiqué aux équations (136) et (137). On peut noter que 85,6% des flux dans cette catégorie sont de nature intrarégionale, ce qui est très réaliste puisque les animaux vivants sont le plus souvent abattus à proximité des lieux d'élevage. En conséquence, les flux les plus importants sont entre zones d'une même région. C'est le cas des deux flux les plus importants qui sont de 111 millions de dollars à l'intérieur de la zone # 45 (Montréal), et de 102 millions de dollars entre la zone # 56 (Baie Georgienne) et la zone # 52 (Toronto). Les résultats semblent donc à première vue plausibles, quoique seule une comparaison avec d'autres sources de données pourrait nous permettre de les valider. Ceci illustre cependant la possibilité de poursuivre le travail de modélisation de la demande de transport de marchandises amorcé par le modèle TOMM-2.

CHAPITRE 10

CONCLUSION

Cette recherche s'était donnée comme objectif de travailler sur les aspects génération et distribution de la demande de transport des marchandises. Il apparaissait alors important de relier cette demande de transport à des variables économiques conjoncturelles (demandes finales et exportations) et structurelles (relations intersectorielles et demandes intermédiaires). Il était également nécessaire de traiter l'ensemble des régions simultanément, afin de prendre en compte les interactions entre les différentes paires origine-destination. Ceci est indispensable si on veut considérer les coûts de transport entre les régions et les possibilités de substitution quant aux sources d'approvisionnement et aux marchés desservis. L'utilisation de deux méthodologies différentes, celle des modèles d'interaction spatiale et celle des modèles input-output interrégionaux, a justement permis de travailler aux deux niveaux d'interaction, spatiale et sectorielle.

Il a fallu pour cela élargir la portée des modèles d'interaction spatiale afin de permettre l'introduction de facteurs explicatifs autres que le coût de transport. Le concept d'information est alors apparu plus approprié que le concept d'entropie, le premier étant d'ailleurs une généralisation du second. Deux niveaux de causalité se sont cependant dégagés: un niveau "ex ante" où les flux a priori sont expliqués

par diverses variables socio-économiques normatives ou institutionnelles, et un niveau "ex post" où les flux a priori doivent s'ajuster aux contraintes structurelles de type input-output dans chaque province.

La justification d'une telle approche repose d'abord sur des fondements théoriques statistiques, à cause de la mesure d'information qu'il faut minimiser, mais elle n'est pas en contradiction avec une justification plus économique. La procédure est en fait très souple, puisqu'on peut utiliser n'importe quel modèle normatif au niveau de l'explication de la demande "ex ante". Cette demande étant connue, le programme mathématique non-linéaire (90), (87), (91) et (92) assure qu'on s'éloigne le moins possible de la solution a priori, tout en tenant compte cependant de l'information contenue dans les contraintes. A cette deuxième étape, on a également une grande latitude quant à la formulation des contraintes, ce qui permet de prendre en considération toute information jugée pertinente. Cette procédure pourrait probablement être utilisée dans d'autres situations où il est nécessaire de distinguer une solution "ex ante" non contrainte, et une solution "ex post" qui l'est.

Il était aussi nécessaire d'implanter le modèle avec des données empiriques, afin de ne pas seulement se limiter à un exercice théorique. Heureusement, le Canada possède les données input-output sur une base provinciale qui permettaient un tel dénouement. Ces données, uniques au monde, méritent certainement qu'on les utilise. Elles ont été obtenues à partir d'une désagrégation aussi détaillée que possible des mêmes

enquêtes qui ont permis le calcul des tableaux input-output canadiens. La masse de données à considérer est évidemment énorme (des centaines de milliers de coefficients à calculer) et la résolution d'un programme mathématique non-linéaire d'aussi grande taille (4 096 variables et au moins 512 contraintes) posa quelques problèmes. Mais, si on compare le modèle TOMM-2 aux autres modèles ordinairement proposés, le résultat semble assez concluant au niveau de la performance comme modèle de prévisions. En plus, le modèle est beaucoup plus souple que n'importe quel autre, en particulier le modèle input-output interrégional classique où les coefficients techniques et commerciaux sont fixes. L'utilisation du modèle pour calculer des multiplicateurs d'ouput et de revenu et pour évaluer l'importance des coûts de transport dans la répartition de l'activité économique, illustre également ses capacités.

Le modèle TOMM-2 n'en a pas moins certaines faiblesses et limitations. Il fonctionne à un niveau d'agrégation assez élevé et ne traite ni du choix modal, ni de l'affectation. Comme on l'a montré au chapitre 9, il est cependant possible à partir d'informations ad hoc de désagréger les résultats à un niveau spatial plus significatif pour des applications en transport. Mais, à mesure qu'on veut préciser sur le réseau de transport multimodal réel quelle est la demande, on se heurte au problème de l'absence de données à un tel niveau de désagrégation. Par ailleurs, au niveau des huit régions, la définition du coût de transport pose un problème. On a utilisé une fonction de tarif estimée pour les chemins de fer, la distance entre deux régions étant calculée à partir de leurs villes principales respectives. Or, il serait sans doute

préférable de calculer un coût de transport qui tienne compte de la répartition modale et spatiale à l'intérieur de chaque région. Il n'est cependant pas irréaliste de penser que cela puisse éventuellement se faire, dans la mesure où les étapes subséquentes de la procédure de modélisation de la demande de transport de marchandises seront développées. Il serait même possible de travailler ces coûts dès maintenant à partir des données, bien qu'imparfaites, du C.I.G.G.T., par exemple.

Le travail de modélisation de la demande de transport des marchandises n'est donc certes pas achevé, et il est possible à partir de cette recherche de le pousser un peu plus loin, espérons-nous. De plus, les données input-output régionales de Statistique Canada pour 1974 n'ont probablement pas livré toute l'information qu'elles contiennent. Il serait probablement intéressant d'examiner et de caractériser la structure industrielle de chaque province à partir des relations intersectorielles qui leur sont propres. Finalement, dans le cadre même du modèle TOMM-2, l'analyse des multiplicateurs n'est pas terminée et il serait souhaitable de la poursuivre en calculant les multiplicateurs de type II, où les effets induits par la hausse de revenus des ménages sont inclus.

ANNEXE 1

PREUVE DE LA REDONDANCE DE LA PARTIE NORMATIVE DANS LE MODÈLE TOMM

Définissons

$$C(x) = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^{m} x_{ij}^{m}$$

$$E(x) = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} x_{ij}^{m} \ln(x_{ij}^{m} / z_{ij}^{m})$$

Alors la fonction objectif (54) du modèle TOMM de Los (1980) peut s'exprimer ainsi:

$$F(x) = C(x) - \gamma E(x) \qquad (54')$$

Le problème mathématique convexe qu'il faut résoudre consiste à maximiser cette fonction sous les contraintes linéaires (55), (56) et (57). Démontrons d'abord que $E(x)$ est une fonction monotone décroissante de γ.

Redéfinissons F de façon à inclure γ comme argument:

$$F(x, \gamma) = C(x) - \gamma E(x)$$

On peut alors considérer la solution du problème comme une fonction de γ, que l'on notera $\hat{x}(\gamma)$. Rappelons que cette solution est unique pour un γ donné, puisqu'il s'agit d'un problème strictement convexe.

Alors: $F(\hat{x}(\gamma), \gamma) = \max F(x, \gamma)$ pour chaque γ

de sorte que:

$$F(\hat{x}(\gamma), \gamma) > F(x, \gamma) \text{ pour tout } x \neq \hat{x}(\gamma).$$

Supposons maintenant que $\gamma_1 \neq \gamma_2$ et que ni γ_1 et ni γ_2 sont nuls. Alors:

$$F(\hat{x}(\gamma_1), \gamma_1) > F(\hat{x}(\gamma_2), \gamma_1) \qquad (138)$$

et $$F(\hat{x}(\gamma_2), \gamma_2) > F(\hat{x}(\gamma_1), \gamma_2) \qquad (139)$$

En notant

$$C(x_1) = C(\mathcal{R}(\gamma_1))$$

$$\text{et} \quad E(x_1) = E(\mathcal{R}(\gamma_1))$$

On peut réécrire (138) et (139), soit:

$$C(x_1) - \gamma_1 E(x_1) - C(x_2) + \gamma_1 E(x_2) > 0 \qquad (140)$$

$$\text{et} \quad C(x_2) - \gamma_2 E(x_2) - C(x_1) + \gamma_2 E(x_1) > 0 \qquad (141)$$

On en tire finalement que :

$$-\gamma_1 E(x_1) + \gamma_1 E(x_2) - \gamma_2 E(x_2) + \gamma_2 E(x_1) > 0$$

$$\text{ou} \quad (\gamma_2 - \gamma_1)\{E(x_1) - E(x_2)\} > 0 \qquad (142)$$

Donc E (x) est une fonction monotone décroissante de γ.

Si on fait tendre γ vers ∞ , la partie normative C (x) de la fonction objectif (54) devient redondante et la solution sera alors:

$$x_{ij}^{m} = z_{ij}^{m} \quad (i, j = 1,\ldots, R\ ;\ m = 1,\ldots, M).$$

Cette solution est telle que les contraintes du problème sont respectées, et telle que:

$$\sum_{i=j}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^{m} x_{ij}^{m} = \sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} \tau_{ij}^{m} z_{ij}^{m}$$

i.e. que le profit total obtenu en solutionnant le problème est égal au profit total observé, ce qui correspond au critère de calibration de Hyman (1969).

De plus, comme chaque x_{ij}^{m} égal z_{ij}^{m} , alors E (x) est égal à zéro. Or, Snickars et Weibull (1977) ont montré que E (x) $\geq$ 0 avec ce type de fonction, étant donné les contraintes (57) sur le total des flux

$$\left(\sum_{i=1}^{R} \sum_{j=1}^{R} \sum_{m=1}^{M} x_{ij}^{m} = T\right).$$

Comme on a démontré que E (x) est une fonction monotone décroissante de γ, la solution $\gamma = \infty$ est donc la solution triviale de ce problème puisqu'aucune autre valeur de γ ne permet d'atteindre E (x) = 0. D'où notre conclusion sur la redondance de C (x) dans la fonction objectif (54) du programme mathématique proposée par Los.

ANNEXE 2

CLASSIFICATION DES INDUSTRIES

No	Nom de l'industrie	No S.-C.(L)[1]
1	Agriculture	1
2	Forêt	2
3	Pêche, chasse et piégeage	3
10	Mines de fer	6
11	Autres mines métalliques	4,5,7
20	Mines de charbon	8
21	Puits de pétrole et de gaz	9
30	Mines d'amiante	10
31	Autres mines non métalliques	11 à 14
40	Services miniers	15
50	Viande, volaille, poisson et industrie laitière	16 à 19
51	Fabrication d'aliments pour animaux	21
52	Autres transformations des aliments	20,25 à 28
53	Fabrication de produits céréaliers	22,23,24
54	Boissons gazeuses, distilleries, brasseries	29 à 32
60	Industrie du tabac	33,34
70	Caoutchouc et produits en matière plastique	35 à 38
71	Industrie du cuir	39 à 42
80	Industrie textile	43 à 55
81	Bonneterie	56,57
82	Industrie du vêtement	58
90	Scieries	59
91	Fabriques de placages et contreplaqués	60
92	Autres industries du bois	61 à 64
93	Ind. du meuble et de l'ameublement	65 à 68
94	Industrie des pâtes et papiers	69
95	Asphalte et produits connexes	70
96	Autres industries du papier	71,72
97	Imprimerie et édition	73,74
100	Industrie sidérurgique	75,76,77
101	Première transformation des autres métaux	78 à 82

1. Classification de Statistique Canada (1979), selon le niveau d'agrégation L.

No	Nom de l'industrie	No S.-C.(L)
102	Fabrication de produits en métal	83 à 91
110	Fabrication de machines	92 à 95
111	Fabrication de métériel de transport	96 à 102
112	Fabrication de produits électriques	103 à 110
120	Fabrication de produits non métalliques	111 à 120
121	Raffineries de pétrole	121
122	Autres dérivés de pétrole et charbon	122
130	Industrie chimique	123 à 130
140	Industries manufacturières diverses	131 à 137
150	Construction	138 à 146
160	Transports aériens	147
161	Services auxiliaires des transports	148
162	Transports par eau	149
163	Transports ferroviaires	150
164	Transports par camions	151
165	Transports interurbains et ruraux par autobus	152
166	Transports urbains et taxis	153,154
167	Transports par pipeline	155
168	Entretien des routes et ponts	156
169	Entreposage	157
170	Marge de transports	187
180	Communications	158 à 160
190	Electricité	161
191	Autres services publics	162,163
200	Commerce de gros	164
201	Commerce de détail	165
202	Immeubles occupés par leur propriétaire	166
203	Finances, assurances et immobilier	167 à 170
204	Enseignement et services médicaux	171 à 173
205	Services personnels et d'affaires	174 à 183 187,189 à 191
210	Fournitures d'exploitation: bureaux, laboratoires et cafétérias	184 à 186,188

ANNEXE 3

CATEGORIES DE LA DEMANDE FINALE

No	Nom de la catégorie	No S.-C.(L)[1]
1	Dépenses de consommation en biens durables	13,14,24,25,30
2	Dépenses de consommation en biens semi-durables	4 à 6,15,31,34
3	Dépenses de consommation en biens non-durables	1 à 3, 10 à 12,16 23, 26, 35
4	Dépenses de consommation en services	7 à 9, 17 à 22, 27 à 29, 32 à 36, 40
5	Construction par les entreprises	80 à 118
6	Construction par les administrations publiques	119
7	Machines et matériels, entreprises	41 à 78
8	Machines et matériels, administrations	79
9	Stocks	120, 121
10	Dépenses moins revenus des administrations	122, 127, 131, 136

1. Classifiaction de Statistique Canada (1979), selon le niveau d'agrégation L.

ANNEXE 4

CLASSIFICATION DES BIENS ET SERVICES

No	Nom du bien ou service	No S.-C. (L)[1]	No CFTM[2]
1	Animaux vivants	1 à 5	1
11	Produits de la viande	52 à 56, 65,66	2,3
12	Poissons et produits	29,75	4
13	Produits laitiers, oeuf, miel	9 à 11, 67 à 73	5
14	Blé	7	6
15	Autres céréales	8	7
16	Farine de blé	90	8
17	Produits céréaliers, autres	91 à 95, 106,108	9
18	Fruits, légumes, autres aliments	12,13,14,19,58,59 74,76 à 84, 96 à 99, 109 à 114	10 à 12, 14
19	Sucre, mélasse, sirop	101,102,107	13
20	Aliments pour animaux	15,61,85 à 89 100,103,118	15
21	Breuvages	115,116,119,120	16
22	Tabac	20, 121 à 123	17
30	Graines oléagineuses	18	19
31	Animaux et végétaux bruts	16,17,21,22,30,45, 60,62,63,161,176, 479,517	20
40	Bois et copeaux à pâte	29,190	22
41	Billots, poteaux et autres	24,25,27	23
50	Minerai et concentrés de fer	34	27
51	Autres minerais métalliques	33,35,36,253,263	25,26 28 à 31
60	Charbon	37	33
61	Pétrole brut	38	34
62	Gaz naturel	39	36
70	Amiante brute	42	38

1. Classifacation de Statistique Canada (1979), selon le niveau d'agrégation L.

2. Classification CFTM du Canadian Institute of Guided Ground Transport (Graham, 1975), pour les biens #1 à#149.

No	Nom du bien ou service	No S.-C. (L)	No CFTM
71	Sable et gravier	49	39
72	Gypse	43	40
73	Autres produits des mines	46 à 48,50	41,45
74	Sel	44	42
75	Soufre brut et raffiné	41	44
76	Rebuts et ferrailles	133,160,193	46
80	Huiles et graisses (animales et végétales)	57,104,410 491 à 495	49
81	Autres dérivés des animaux et végétaux	130,131,139,142 145 à 149, 151 à 153, 156 à 159,162 à 169, 177, 181, 182,186,187	50
90	Sciage et bois d'oeuvre	191	52
91	Placages et contre-plaqués	195	53
92	Autres produits du bois	192,194,196,197,201	54
93	Pâte de bois	209	55
94	Papier journal	210	56
95	Autres papiers	211 à 214,219,222	57
96	Cartons, papiers de construction	215,216	58
100	Acide sulphurique	420	60
101	Produits chimiques industriels	105,117,218,261,262 398,406,407,416 à 419,421 à 463,465, 466, 468, 480	61
102	Autres produits chimiques	129,154,155,404,405 409,411,414,464,465 467,470 à 475,481 à 489	63
103	Engrais chimiques	403,469	43,62
110	Essence	394,395	65
111	Mazout	396	66
112	Coke	548	67
113	Gaz liquéfiés	399	68
114	Autres produits du pétrole	245,397,400 à 402	69
120	Produits du fer et de l'acier	235 à 241,243,244, 247 à 252,272,276, 280,281,287,306	71
121	Produits de l'aluminium	257,264,371	72
122	Produits du cuivre et alliages	254,265,266	73
123	Autres métaux non ferreux	32,242,255,256,258 à 260, 267 à 270	74
124	Produits métalliques	223,271,273,279,282, 283,288 à 295,307 344,370	75
130	Ciment	375	77
131	Produits minéraux non métalliques	132,135,220,246, 376 à 381,383,384, 386 à 390, 393,504 518	78

No	Nom du bien ou service	No S.-C. (L)	No CFTM
140	Machines industrielles	274,277,296,298 316 à 318, 321 à 323 364 à 366	81
141	Machines agricoles	314,315	82
142	Voitures particulières	334	83
143	Véhicules utilitaires	319,335,336	84
144	Pièces pour automobiles	125 à 128,340,341,343	85
145	Autres matériels de transport	275,330 à 332,337 à 339, 345 à 349,351, 352	86
146	Autres équipements manufacturiers	172,234,297,300 à 304 308 à 311,320,324,326 à 329,342,358 à 363, 367 à 369, 372 à 374, 382,501	87
147	Objets personnels et ménagers	124,138,140,141,143, 144,150,170,183 à 185, 188,189,204 à 208,217, 224,285,299,353 à 357, 392,412,413,415,490, 496,502,505 à 509,520	88
148	Contenants (boîtes, bouteilles)	136,175,199,202,221, 225,286,313,391	89
149	Produits manufacturés divers	134,137,173,174,198, 200,203,226 à 231, 278, 312,325,385,408, 476 à 478, 497 à 500, 503,510 à 513,516,519, 521,580,582,584	90
200	Services auxiliaires (industries primaires)	23,28,51,64	
201	Construction réparation	522	
202	Construction résidentielle	523	
203	Construction non résidentielle	350,524 à 529,541	
210	Transport aérien	530	
211	Autres moyens de transport	531	
212	Services auxiliaires (transport)	532	
213	Transport maritime	533	
214	Services auxiliaires (transport maritime)	534	
215	Transport ferroviaire	535	
216	Transport par camion	536	
217	Transport interurbain par autobus	537	
218	Transport urbain et taxis	538,539	
219	Transport par pipe-line	540	

No	Nom du bien ou service	No S.-C. (L)	No CFTM
220	Entreposage	542	
221	Marge de transport	583	
230	Radio, T.V., téléphone, télégraphe	543,544	
231	Services postaux	545	
240	Electricité	546	
241	Autres utilités (gaz, eau)	547,549	
250	Marges de commerce (gros, détail)	550,553	
261	Finances, assurances, immobilier	554 à 560	
262	Services personnels et d'affaires	171,232,233,551, 552,564 à 579, 585 à 587, 595	
263	Services d'éducation et de santé	561 à 563	

ANNEXE 5

CLASSIFICATION DES FACTEURS PRIMAIRES

No	Nom du facteur	No S.- C. (L)[1]
280	Importations et exportations non réparties	594
281	Impôts indirects	596, 598
282	Subventions	597
283	Salaires et traitements	599
284	Revenu supplémentaire du travail	600
285	Revenu net des entreprises individuelles	601
286	Autre excédent d'exploitation	602

1. Classification de Statistique Canada (1979), selon le niveau d'agrégation L.

ANNEXE 6

VALEUR DES BIENS COMMERCIALISABLES[1]

	Valeur (dollars par tonne)	No de référence dans Samuelson et Roberts (1975)
Aliments et boissons		
1- Animaux vivants	780	01411
11- Produits de la viande	840	20111
12- Poissons et produits	2 600	20362
13- Produits laitiers oeufs, miel	120	01421
14- Blé	60	01137
15- Autres céréales	140	01139
16- Farine de blé	120	20411
17- Produits céréaliers, autres	460	20511
18- Fruits, légumes, autres aliments	233	01219
19- Sucre, mélasse, sirop	180	20625
20- Aliments pour animaux	100	20421
21- Breuvages	200	20821
22- Tabac	3 380	21111
30- Graines oléagineuses	120	01144
31- Animaux et végétaux bruts	700	01431
Matières premières brutes		
40- Bois et copeaux à pâte	20	24114

1. Tirée de Samuelson et Roberts (1975).

	Valeur (dollars par tonne)	No de référence dans Samuelson et Roberts (1975)
Matières premières brutes (suite)		
41- Billots, poteaux et autres	60	24116
50- Minerai et concentrés de fer	20	10113
51- Autres minerais métalliques	200	10312
60- Charbon	20	11211
61- Pétrole brut	20	13311
62- Gaz naturel	20	13121
70- Amiante brute	20	14919
71- Sable et gravier	20	14411
72- Gypse	20	14911
73- Autres produits des mines	20	14911
74- Sel	20	14715
75- Soufre brut et raffiné	20	14716
76- Rebuts et ferrailles	20	14716
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	360	20465
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	1 760	22811
Produits semi-transformés		
90- Sciage et bois d'oeuvre	420	24215

	Valeur (dollars par tonne)	No de référence dans Samuelson et Roberts (1975)
Produits semi-transformés (suite)		
91- Placages et contre-plaqués	320	24321
92- Autres produits du bois	140	24299
93- Pâte de bois	140	26111
94- Papier journal	160	26211
95- Autres papiers	760	26213
96- Cartons, papiers de construction	380	26311
100- Acide sulphurique	260	28193
101- Produits chimiques industriels	420	28133
102- Autres produits chimiques	600	28211
103- Engrais chimiques	60	28714
110- Essence	40	29111
111- Mazout	20	29113
112- Coke	40	29911
113- Gaz liquéfiés	60	29121
114- Autres produits du pétrole	180	29119
120- Produits du fer et de l'acier	100	33121
121- Produits de l'aluminium	1 080	33529

	Valeur (dollars par tonne)	No de référence dans Samuelson et Roberts (1975)
Produits semi-transformés (suite)		
122- Produits du cuivre et alliages	1 020	33311
123- Autres métaux non-ferreux	300	33321
124- Produits métalliques	760	34499
130- Ciment	40	32412
131- Produits minéraux non-métalliques	60	32711
Produits finis		
140- Machines industrielles	3 700	35671
141- Machines agricoles	2 580	35222
142- Voitures particulières	2 080	37111
143- Véhicules utilitaires	1 800	37112
144- Pièces pour automobiles	2 280	37149
145- Autres matériels de transport	3 400	37421
146- Autres équipements manufacturiers	4 800	35999
147- Objets personnels et ménagers	2 520	36349
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	440	32212
149- Produits manufacturés divers	2 260	39999

ANNEXE 7

COEFFICIENTS D'IMPORTATION POUR LE QUEBEC[1]

Aliments et boissons	
1- Animaux vivants	0,039
11- Produits de la viande	0,047
12- Poissons et produits	0,337
13- Produits laitiers oeufs, miel	0,024
14- Blé	0,0
15- Autres céréales	0,386
16- Farine de blé	0,0
17- Produits céréaliers, autres	0,030
18- Fruits, légumes, autres aliments	0,253
19- Sucre, mélasse, sirop	0,096
20- Aliments pour animaux	0,044
21- Breuvages	0,153
22- Tabac	0,048
30- Graines oléagineuses	0,869
31- Animaux et végétaux bruts	0,539
Matières premières brutes	
40- Bois et copeaux à pâte	0,004

1. Calculés à partir des donnés input-output régionales de Statistique Canada pour 1974 (Gaston, 1979), en utilisant l'équation (75).

Matières premières brutes (suite)	
41- Billots, poteaux et autres	0,126
50- Minerai et concentrés de fer	0,0
51- Autres minerais métalliques	0,272
60- Charbon	0,864
61- Pétrole brut	0,941
62- Gaz naturel	0,0
70- Amiante brute	0,0
71- Sable et gravier	0,058
72- Gypse	0,009
73- Autres produits des mines	0,429
74- Sel	0,092
75- Soufre brut et raffiné	0,001
76- Rebuts et ferrailles	0,435
80- Huiles et graisses (animales, végét.)	0,386
81- Autres dérivés des anim. et végétaux	0,381
Produits semi-transformés	
90- Sciage et bois d'oeuvre	0,184

Produits semi-transformés (suite)	
91- Placages et contre-plaqués	0,435
92- Autres produits du bois	0,089
93- Pâte de bois	0,047
94- Papier journal	0,014
95- Autres papiers	0,139
96- Cartons, papiers de construction	0,081
100- Acide sulphurique	0,035
101- Produits chimiques industriels	0,406
102- Autres produits chimiques	0,307
103- Engrais chimiques	0,153
110- Essence	0,0
111- Mazout	0,183
112- Coke	1,0
113- Gaz liquéfiés	0,001
114- Autres produits du pétrole	0,101
120- Produits du fer et de l'acier	0,327
121- Produits de l'aluminium	0,175

Produits semi-transformés (suite)	
122- Produits du cuivre et alliages	0,070
123- Autres métaux non-ferreux	0,171
124- Produits métalliques	0,164
130- Ciment	0,012
131- Produits minéraux non-métalliques	0,190
Produits finis	
140- Machines industrielles	0,564
141- Machines agricoles	0,885
142- Voitures particulières	0,701
143- Véhicules utilitaires	0,554
144- Pièces pour automobiles	0,625
145- Autres matériels de transport	0,571
146- Autres équipements manufacturiers	0,382
147- Objets personnels et ménagers	0,206
148- Contenants (boîtes, bouteilles)	0,054
149- Produits manufacturés divers	0,123

ANNEXE 8

LES 67 ZONES DU CANADA

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
00	Péninsule d'Avalon	St. Johns	10 01	Division 1
01	Côte-Sud, Péninsule de Burin	Port-aux-Basques	10 02	Division 2
			10 03	Division 3
02	Notre-Dame, Centre de la baie de Bonavista	Grand Falls	10 06	Division 6
			10 07	Division 7
			10 08	Division 8
03	Côte-Ouest, Péninsule du Nord, Labrador	Corner Brook	10 04	Division 4
			10 05	Division 5
			10 09	Division 9
			10 10	Division 10
10	Ile-du-Prince-Edouard	Charlottetown	11 01	Kings
			11 02	Queen's
			11 03	Prince
20	Cap-Breton	North Sydney	12 15	Inverness
			12 16	Richmond
			12 17	Cape Breton
			12 18	Victoria
31	Côte-Nord de la Nouvelle-Ecosse	New Glasgow	12 10	Colchester
			12 11	Cumberland
			12 12	Pictou
			12 13	Guysborough
			12 14	Antigonish
22	Vallée d'Annapolis	Kingston	12 03	Digby
			12 05	Annapolis
			12 07	Kings
			12 08	Hants
23	Sud de la Nouvelle-Ecosse	Lunenburg	12 01	Shelbourne
			12 02	Yarmouth
			12 04	Queens
			12 06	Lunenburg
24	Halifax	Halifax	12 09	Halifax
30	Baie-des-Chaleurs, Miramichi	Bathurst	13 09	Northumberland
			13 14	Restigouche
			13 15	Gloucester
31	Moncton	Moncton	13 06	Albert
			13 07	Westmorland
			13 08	Kent

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
32	Saint-John	Saint-John	13 01	Saint-John
			13 02	Charlotte
			13 05	Kings
33	Frédéricton	Frédéricton	13 03	Sunbury
			13 04	Queens
			13 10	York
34	Edmunston-Woodstock	Edmunston	13 11	Carleton
			13 12	Victoria
			13 13	Madawaska
40	Bas Saint-Laurent, Gaspésie	Rimouski	24 01	Iles-de-la-Madeleine
			24 02	Gaspé-Est
			24 03	Gaspé-Ouest
			24 04	Bonaventure
			24 05	Matapédia
			24 06	Matane
			24 07	Rimouski (partie)
41	Saguenay-Lac-Saint-Jean	Chicoutimi	24 90	Lac St-Jean-Ouest
			24 93	Lac St-Jean-Est
			24 94	Chicoutimi
42	Québec	Québec	24 07	Rimouski (partie)
			24 08	Rivière-du-Loup
			24 09	Témiscouata
			24 10	Kamouraska
			24 11	Charlevoix-Est
			24 12	Charlevoix-Ouest
			24 13	L'Islet
			24 14	Montmagny
			24 15	Bellechasse
			24 16	Montmorency 2
			24 17	Montmorency 1
			24 20	Québec (partie)
			24 21	Lévis
			24 22	Dorchester
			24 23	Beauce
			24 24	Frontenac (partie)
			24 26	Wolfe (partie)
			24 27	Mégantic (partie)
			24 28	Lotbinière (partie)
			24 29	Portneuf (partie)
			24 97	Saguenay (partie)

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
43	Trois-Rivières	Trois-Rivières	24 20	Québec (partie)
			24 27	Mégantic (partie)
			24 28	Lotbinière (partie)
			24 29	Portneuf (partie)
			24 32	Champlain
			24 33	Nicolet
			24 34	Arthabaska (partie)
			24 41	Drummond
			24 42	Yamaska (partie)
			24 43	Saint-Maurice
			24 47	Maskinongé (partie)
			24 84	Abitibi (partie)
44	Cantons-de-l'Est	Sherbrooke	24 24	Frontenac (partie)
			24 25	Compton
			24 26	Wolfe
			24 34	Arthabaska (partie)
			24 35	Richmond
			24 36	Sherbrooke
			24 37	Stanstead
45	Montréal	Montréal	24 38	Brome
			24 39	Shefford
			24 40	Bagot
			24 42	Yamaska (partie)
			24 47	Maskinongé (partie)
			24 49	Berthier
			24 50	Richelieu
			24 51	Saint-Hyacinthe
			24 52	Rouville
			24 53	Iberville
			24 54	Missisquoi
			24 55	Saint-Jean
			24 56	Chambly
			24 57	Verchères
			24 58	Joliette
			24 61	Montcalm
			24 62	L'Assomption
			24 63	Terrebonne
			24 65	Ile-de-Montréal et Ile-Jésus
			24 66	Laprairie
			24 67	Napierville
			24 68	Huntingdon
			24 69	Châteauguay
			24 70	Beauharnois
			24 71	Soulanges

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
			24 72	Vaudreuil
			24 73	Deux-Montagnes
			24 74	Argenteuil
			24 75	Papineau (partie)
			24 76	Labelle (partie)
46	Outaouais	Hull	24 47	Maskinongé (partie)
			24 75	Papineau (partie)
			24 76	Labelle (partie)
			24 78	Gatineau
			24 79	Hull
			24 80	Pontiac
47	Nord-Ouest	Val d'Or	24 83	Témiscamingue
			24 84	Abitibi (partie)
48	Côte-Nord	Sept-Iles	24 97	Saguenay (partie)
49	Nouveau-Québec	Chibougamau	24 99	Nouveau-Québec
50	Est de l'Ontario	Ottawa	35 01	Glengarry
			35 02	Prescott
			35 03	Russel
			35 04	Stormont
			35 05	Dundas
			35 06	Ottawa-Carleton
			35 07	Greenville
			35 08	Leeds
			35 09	Lanark
			35 10	Frontenac
			35 11	Lennox and Addington
			35 12	Hastings
			35 13	Prince Edward
			35 47	Renfrew
51	Centre de l'Ontario	Peterborough	35 14	Northumberland
			35 15	Peterborough
			35 16	Victoria
			35 22	Dufferin
			35 43	Simcoe
			35 44	Muskoka
			35 46	Haliburton
52	Toronto	Toronto	35 18	Durham
			35 19	York
			35 20	Metropolitan Toronto
			35 21	Peel
			35 24	Halton

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement	
53	Niagara	Hamilton	35 23	Wellington
			35 25	Hamilton-Wentworth
			35 26	Niagara
			35 28	Haldimand-Norfolk
			35 29	Brant
			35 30	Waterloo
54	Lac Erié	London	35 32	Oxford
			35 34	Elgin
			35 39	Middlesex
55	Lac Ste-Claire	Windsor	35 36	Kent
			35 37	Essex
			35 38	Lambton
56	Baie Georgienne	Barrie	35 31	Perth
			35 40	Huron
			35 41	Bruce
			35 42	Grey
57	Nord-Est de l'Ontario	Sudbury	35 48	Nipissing
			35 49	Parry Sound
			35 51	Manitoulin
			35 52	Sudbury
			35 53	Sudbury R.M.
			35 54	Timiskaming
			35 56	Cochrane
			35 57	Algoma
58	Nord-Ouest de l'Ontario	Thunder Bay	35 58	Thunder Bay
			35 59	Rainy River
			35 60	Kenora
60	Sud-Est du Manitoba	Steinbach	46 01	Division 1
			46 02	Division 2
			46 12	Division 12
61	Centre-Sud du Manitoba	Morden	46 03	Division 3
			46 04	Division 4
62	Centre-Ouest du Manitoba	Brandon	46 05	Division 5
			46 06	Division 6
			46 17	Division 17
			46 15	Division 15
63	Centre-Nord du Manitoba	Portage-La-Prairie	46 08	Division 8
			46 09	Division 9
			46 10	Division 10
64	Winnipeg	Winnipeg	46 11	Division 11

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
65	Interlake	Selkirk	46 13	Division 13
			46 14	Division 14
			46 18	Division 18
66	Parkland	Dauphin	46 16	Division 16
			46 17	Division 17
			46 20	Division 20
67	Nord du Manitoba	Flin Flon	46 19	Division 19
			46 21	Division 21
			46 22	Division 22
			46 23	Division 23
70	Régina, Moose Mountain	Régina	47 01	Division 1
			47 02	Division 2
			47 06	Division 6
71	Swift Current, Moose Jaw	Moose Jaw	47 03	Division 3
			47 04	Division 4
			47 07	Division 7
			47 08	Division 8
72	Saskatoon Biggar	Saskatoon	47 11	Division 11
			47 12	Division 12
			47 13	Division 13
73	Yorkton Melville	Yorkton	47 05	Division 5
			47 09	Division 9
			47 10	Division 10
74	Prince Albert	Prince Albert	47 14	Division 14
			47 15	Division 15
			47 16	Division 16
			47 17	Division 17
75	Nord de la Saskatchewan	La Rouge	47 18	Division 18
80	Medicine Hat	Medicine Hat	48 01	Division 01
			48 04	Division 04
81	Lethbridge	Lethbridge	48 02	Division 02
			48 03	Division 03
82	Calgary Drumheller	Calgary	48 05	Division 5
			48 06	Division 6
83	Les Parcs	Hinton	48 09	Division 9
			48 14	Division 14
84	Red Deer-Wainwright	Red Deer	48 07	Division 7
			48 08	Division 9

	Nom de la région	Centroïde	Code C.G.T. et nom de la division de recensement, 1976	
85	Edmonton-Floydminster	Edmonton	48 10	Division 10
			48 11	Division 11
86	Rivière-à-la-Paix	Grande Prairie	48 15	Division 15
87	Athabaska	Bonnyville	48 12	Division 12
			48 13	Division 13
90	Est du Kootenay	Cranbrook	59 01	East Kootenay
91	Centre du Kootenay	Nelson	59 03	Central Kootenay
			59 39	Columbia-Shuswap
92	Okanagan-Boundary	Kelowna	59 05	Kootenay-Boundary
			59 07	Okanagan-Similkameen
			59 35	Central Okanagan
			59 37	North Okanagan
93	Lillooet-Thompson	Kamloops	59 31	Squamish-Lilloset
			59 33	Thompson-Nicola
94	Lower Mainland	Vancouver	59 09	Fraser-Cheam
			59 11	Central Fraser
			59 13	Dewdney-Alouette
			59 15	Greater Vancouver
			59 27	Powell River
			59 29	Sunshine Coast
95	Capital et Ile de Vancouver	Victoria	59 17	Capital Region
			59 19	Cowichan Valley
			59 21	Nanaimo
			59 23	Alberni-Clayoquet
			59 25	Comox-Strathcona
			59 43	Mount Waddington
96	Cariboo-Fort-Geroge	Prince George	59 41	Cariboo
			59 51	Bulkley-Nichako
			59 53	Fraser-Fort George
97	Rivière-à-la-Paix, Liard	Dawson Creek	59 55	Peace River-Liard
98	Skeena-Stikine	Prince-Rupert	59 45	Central Coast
			59 47	Skeena-Queen Charlotte
			59 49	Kitimat-Stikine
			59 57	Stikine
11	Yukon	Whitehorse	60	
12	Territoires-du-Nord-Ouest	Yellowknife	61	

ANNEXE 9

DONNEES AYANT SERVI A CALCULER LES PARTS ZONALES
DE PRODUCTION ET D'ATTRACTION [1]

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
1 - Animaux vivants	Bétail et volaille dans les fermes de recensement, valeur et nombre, 1971, par division de recensement: valeur du bétail et de la volaille. (1)	Coût des matières et fournitures utilisées, activité manufacturière, 1974, par région économique: industrie des aliments et boissons; (4) Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie des aliments et boissons.(2)
11 - Produits de la viande	Mêmes sources de données que pour la production du bien 21	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
12 - Poissons et produits du poisson	Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: chasse et pêche. (2).	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
13 - Produits laitiers, oeufs, miel	Valeur des produits agricoles vendus dans les fermes de recensement, 1970, par division de recensement: produits laitiers et oeufs. (1)	Population, subdivisions de recensement, 1971. (3)
14 - Blé	Valeur des produits agricoles vendus dans les fermes de recensement, 1970, par division de recensement: blé. (1)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 1.
15 - Autres céréales	Valeur des produits agricoles vendus dans les fermes de recensement, 1970, par division de recensement: avoine et autres céréales. (1)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 1.

1. Voir à la p. 290 pour les références dont les numéros apparaissent entre parenthèses.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
16 - Farine de blé	Mêmes sources de données que pour la la production du bien 21.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
17 - Produits céréaliers non énumérés	Mêmes sources de données que pour la production du bien 21.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
18 - Fruits, légumes et produits alimentaires divers	Mêmes sources de données que pour la production du bien 21.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
19 - Sucre, mélasse et sirop d'érable	Mêmes sources de données que pour la production du bien 21.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
20 - Aliments pour animaux	Valeur des produits agricoles vendus dans les fermes de recensement 1970, par division de recensement: foin et autres cultures fourragères. (1)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 1.
21 - Breuvages	Valeur de livraison de produits de propre fabrication, activité manufacturière 1974, par région économique: industrie des aliments et boissons. (4) Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie des aliments et boissons. (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
22 - Tabac	Grandes cultures dans les fermes de recensement, 1971, par division de recensement: tabac (nombre d'acres). (1)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
30 - Graines oléagineuses	Grandes cultures dans les fermes de recensement, 1971, par division de recensement: graine de lin, soya et colza (nombre d'acres). (1)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 1.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
31 - Animaux et végétaux bruts	Valeur des produits agricoles vendus dans les fermes de recensement, 1970, par division de recensement: autres produits agricoles. (1)	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie du cuir et industrie du textile. (2)
40 - Bois et copeaux de bois à pâte	Inventaire du bois sur pied par district forestier provincial, 1963. (7)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 93.
41 - Billots, poteaux et autres dérivés bruts du bois	Mêmes sources de données que pour la production du bien 40.	Coût des matières et fournitures utilisées, activités manufacturières, 1974, par région économique infraprovinciale: industrie du bois. (4). Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: forêts (2)
50 - Minerai et concentrés de fer	Producteurs de minerai et concentrés de fer, 1974: expédition (en tonnes). (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 120.
51 - Autres minerais métalliques et concentrés	Mêmes sources de données que pour la production du bien 73.	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: première transformation des métaux. (2)
60 - Charbon	Production de charbon, 1974: production (tonnes). (6)	Usines thermiques fonctionnant au charbon, 1974: capacité (kilowatts). (6) Four à coke et autres usines de carbonisation au Canada: production de coke en 1974. (6)

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
61 - Huiles minérales brutes	Production d'huiles minérales brutes par champ pétrolifère (barils), 1974. (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 120.
62 - Gaz naturel	Champs à gaz naturel produisant plus de 10 millions de Mcf, 1974. (6)	Champs pétrolifères et champs à gaz naturel, pipe-lines et usines de traitement, 1970. (7) Population, subdivisions de recensement, 1971. (3)
70 - Amiante brute et fibreuse	Producteurs canadiens d'amiante, 1974: capacité de traitement par mine (tonnes/jour). (6)	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication de produits minéraux non métalliques. (2)
71 - Sable et gravier	Permis de bâtir émis au Canada, par comté ou division de recensement, 1974: valeur estimative de la construction totale. (5)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 71.
72 - Gypse	Sommaire des opérations des producteurs de gypse et de produits dérivés. (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 72.
73 - Autres produits des mines	Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: mines, carrières et puits de pétrole. (2)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 71.
74 - Sel	Sommaire des opérations de production du sel, 1974. (6)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
75 - Soufre brut et raffiné	Usines d'extraction de gaz sulphurique, 1974: capacité journalière (tonnes). (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
76 - Rebuts et ferrailles	Valeur des livraisons de produits de propre fabrication, activité manufacturière, 1974, par région économique: toutes les industries manufacturières.(4) Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: industries manufacturières. (2).	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
80 - Huiles et graisses d'origine animale et végétale	Industries manufacturières, 1961, caractéristiques particulières et emplacement des entreprises par région économique: savons et composés de nettoyage. (7).	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
81 - Produits dérivés des animaux et végétaux	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 31.	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie de la bonnetterie et industrie de l'habillement. (2).
90 - Sciage et bois d'oeuvre	Valeur des livraisons de produits de propre fabrication, activité manufacturière, 1974, par région économique infraprovinciale: industrie du bois.(4) Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: forêts. (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.
91 - Placages et contre-plaqué	Mêmes sources de données que pour la production du bien 90.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.
92 - Autres produits dérivés du bois	Mêmes sources de données que pour la production du bien 90.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
93 - Pâte de bois	Nombre d'usines et capacité de production journalière selon les produits et les lieux, 1971: pâte mécanique et pâte chimique. (7)	Nombre d'usines et capacité de production journalière selon les produits et les lieux, 1971: tous les papiers et cartons. (7).
94 - Papier journal	Nombre d'usines et capacité de production journalière selon les produits et les lieux, 1974: papier journal. (7)	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: imprimerie, édition et activités connexes. (4)
95 - Autres papiers	Nombre d'usine et capacité de production journalière selon les produits et les lieux, 1974: papiers fins, papiers particuliers et papiers d'emballage. (7)	Mêmes sources de données que pour l'attracti-n du bien 13.
96 - Cartons et papiers de construction	Nombre d'usine et capacité de production journalière selon les produits et les lieux, 1974: cartons, papiers de construction et panneaux de construction.(7)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.
100 - Acide sulphurique	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.
101 - Produits chimiques industriels	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie chimique. (2)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.
102 - Autres produits chimiques	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.	Coût des matières et fournitures utilisées, activité manufacturière, 1974, par région économique infra-provinciale: toutes les industries.(4) Population active par division d'activité économique, 1971, pour les divisions de recensement: industries manufacturières. (2)

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
103 - Engrais chimiques	Mêmes sources de données que pour la production du bien 101.	Utilisation d'engrais commercial dans les fermes de recensement, culture de 1971, par division de recensement: superficie totale fertilisée. (1).
110 - Essence	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: raffineries de pétrole.(2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
111 - Mazout	Mêmes sources de données que pour la production du bien 110.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
112 - Coke	Four à coke et autres usines de carbonisation au Canada: production de coke en 1974. (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 120.
113 - Gaz liquéfiés	Mêmes sources de données que pour la production du bien 110.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
114 - Autres produits raffinés du pétrole	Mêmes sources de données que pour la production du bien 110.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
120 - Produits du fer et de l'acier	Production d'acier brut, 1970. (7)	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication de machines (sauf électriques), de produits en métal et d'équipement de transport. (2).
121 - Produits de l'aluminium	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: extrusion, laminage et raffinage de l'aluminium. (2).	Mêmes sources de données que pour la production du bien 124.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
122 - Produits du cuivre et alliage de cuivre	Fonderies de cuivre et de cuivre-nickel au Canada: capacité annuelle de production, 1973. (6) Raffineries de cuivre au Canada: production, 1973. (6) Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: laminage, moulage et extrusion du cuivre et de ses alliages. (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 124.
123 - Autres métaux non-ferreux et alliages	Principales mines de plomb au Canada: expéditions de minerais, 1974. (6) Principales mines de zinc au Canada: production, 1974. (6)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 124.
124 - Produits métalliques	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie de la fabrication de produits en métal (sauf machines et équipements de transports). (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
130 - Ciment	Capacité des cimenteries au Canada, 1970. (7)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.
131 - Produits minéraux non-métalliques	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie des produits minéraux non-métalliques. (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 71.
140 - Machines industrielles	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie de la fabrication de machines (sauf électriques). (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.

Numéro et nom du bien	Production	Attraction
141 - Machines agricoles	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication d'instruments aratoires. (2)	Machines et outillage dans les fermes de recensement, 1971, par division de recensement:valeur totale des machines et de l'outillage.(1)
142 - Voitures particulières	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication de véhicules et d'accessoires automobiles. (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
143 - Véhicules utilitaires	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication de carrosseries de camions et de remorques. (2)	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
144 - Pièces pour véhicules automobiles	Mêmes sources de données que pour la production du bien 142.	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: fabrication d'équipements de transport. (2)
145 - Autre matériel de transport	Mêmes sources de données que pour la production des biens 142 et 143.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
146 - Autre équipement manufacturier	Mêmes sources de données que pour la production du bien 140.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
147 - Objets personnels et ménagers	Population active selon l'activité économique, 1971, par agglomération de recensement: industrie de la bonneterie, industrie de l'habillement et industrie des produits électriques. (2).	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.
148 - Contenants (boîtes, bouteilles, etc.)	Mêmes sources de données que pour la production du bien 76.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 102.
149 - Produits manufacturés divers	Mêmes sources de données que pour la production du bien 76.	Mêmes sources de données que pour l'attraction du bien 13.

REFERENCES

(1) STATISTIQUE CANADA (1973). Recensement du Canada 1971, vol. IV (partie 1). Recensement de l'agriculture. Statistique Canada, No de cat. 96-701 à 96-711, Ottawa.

(2) STATISTIQUE CANADA (1975). Recensement du Canada 1971, Vol. III (partie 4). Population active: Activité économique. Statistique Canada, No de cat. 94-738 à 94-747, Ottawa.

(3) STATISTIQUE CANADA (1973). Recensement du Canada 1971, Vol. I (partie 1). Population: Répartition géographique (tableaux chronologiques). No de cat. 92-702, Ottawa.

(4) STATISTIQUE CANADA (1978). Industries manufacturières du Canada, niveau infraprovincial, 1974. No de cat. 31-209, Ottawa.

(5) STATISTIQUE CANADA (1975). Permis de bâtir, Sommaire annuel, 1974. No de cat. 64-203. Statistique Canada, Ottawa.

(6) En collaboration (1977). Canadian Minerals Yearbook, 1974, Mineral Report #24, Energie, Mines et Ressources Canada, Ministère des approvisionnements et services, Ottawa.

(7) En collaboration (1974). L'Atlas National du Canada. 4e édition (révisée). The Macmillan Company of Canada Ltd., avec le concours du Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources et d'Information Canada, Ottawa.

ANNEXE 10

MATRICE O-D ENTRE LES 67 ZONES DU CANADA: ANIMAUX VIVANTS

NO. CRT. DU BIEN: 1
NOM DU BIEN: LIVE ANIMALS.
VALEUR/TONNE : $ 1000.00
VALEUR TOTALE : $ 3078234.00
SOMME DES FLOTS: 3078234. TONNES

LIVE ANIMALS. MATRICE INTERREGIONALE MILLIERS $ 1974

REGION	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL
1	2625.	914.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	3539.
2	1104.	79221.	559.	179.	143.	0.	0.	0.	81206.
3	0.	4210.	444565.	15881.	46.	0.	0.	0.	464702.
4	64.	1778.	42733.	947839.	785.	32.	158.	270.	993659.
5	6.	2288.	5612.	35865.	200976.	78	2741.	1756.	249255.
6	51.	771.	868.	102768.	70657.	178874.	58661.	2103.	414843.
7	103.	38.	3972.	58013.	3935.	9717.	668287.	9289.	745354.
8	0.	0.	0.	6935.	6.	0.	7576.	111159.	125676.
TOTAL	3953.	89212.	498309.	1159488.	276547.	188643.	737423.	124667.	

I LIVE ANIMALS.

ZONE	CENTROIDE	PRODUCTION	ATTRACTION
0	ST-JOHN'S	2480.	2887.
1	CHANNEL-PO	99.	0.
2	GRAND FALL	465.	355.
3	CORNER BRO	575.	711.
10	CHARLOTTET	21445.	7033.
20	NORTH SYDN	2666.	3144.
21	NEW GLASGO	11120.	4704.
22	KINGSTON	15449.	9034.
23	LUNENBURG	3288.	9722.
24	HALIFAX	1417.	7616.
30	BATHURST	2637.	3447.
31	MONCTON	7187.	7244.
32	ST-JOHN	5978.	29788.
33	FREDERICTO	4683.	2211.
34	EDMUNDSTON	5415.	4469.
40	RIMOUSKI	20333.	8186.
41	CHICOUTIMI	24405.	9719.
42	QUEBEC	112392.	67718.
43	TROIS-RIVI	69428.	40797.
44	SHERBROOKE	38282.	16589.
45	MONTREAL	162631.	347311.
46	HULL	22461.	4396.
47	VAL D'OR	14234.	2973.
48	SEPT-ILES.	536.	621.
50	OTTAWA	185115.	106775.
51	PETERBORO	129425.	42218.
52	TORONTO	85377.	540100.
53	HAMILTON	152848.	262359.
54	LONDON	116127.	88943.
55	WINDSOR	57901.	93918.
56	STRATFORD	228110.	4974.
57	SUDBURY	28959.	7802.
58	THUNDER BA	9707.	12391.
60	STEINBACH	31556.	13173.
61	NORDEN	35974.	17795.
62	BRANDON	60504.	24987.
63	PORTAGE-LA	43379.	861.
64	WINNIPEG	1046.	212407.
65	SELKIRK	36072.	5131.
66	DAUPHIN	39465.	1435.
67	FLIN FLON	1259.	758.
70	REGINA	70782.	29997.
71	MOOSE JAW	100863.	14485.
72	SASKATOON	59422.	91027.
73	YORKTON	67783.	9733.
74	PRINCE-ALB	94308.	43401.
75	LA RONGE	21685.	0.
80	MEDICINE H	70868.	22676.
81	LETHBRIDGE	135978.	103271.

1 LIVE ANIMALS.

ZONE	CENTROIDE	PRODUCTION	ATTRACTION
82	CALGARY	135232.	239411.
83	HINTON	10770.	677.
84	RED DEER	139408.	65492.
85	EDMONTON	140591.	217607.
86	GRANDE PRA	27157.	7289.
87	BONNYVILLE	76350.	0.
90	CRANBROOK	4258.	153.
91	NELSON	5309.	0.
92	KELOWNA	13573.	8246.
93	KAMLOOPS	21823.	419.
94	VANCOUVER	44500.	98886.
95	VICTORIA	6907.	6847.
96	PRINCE-GEO	22852.	1122.
97	DAWSON CRE	5790.	201.
98	PRINCE-RUP	553.	8793.

1 LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS 0 1974

0 A 0	1445. 2	141. 3	246. 10	51. 20	30. 21	33. 22	58. 23	63. 24	51. 30	21.
31	46. 32	178. 33	13. 34	25.						
1 A 0	40. 2	7. 3	15. 10	3. 20	2. 21	2. 22	4. 23	4. 24	3. 30	1.
31	3. 32	12. 34	2.							
2 A 0	230. 2	39. 3	68. 10	11. 20	7. 21	7. 22	13. 23	14. 24	11. 30	6.
31	10. 32	40. 33	3. 34	6.						
3 A 0	253. 2	43. 3	97. 10	16. 20	10. 21	10. 22	19. 23	20. 24	16. 30	7.
31	14. 32	67. 33	4. 34	8.						
10 A 0	205. 2	28. 3	63. 10	2080. 20	758. 21	1153. 22	2045. 23	2221. 24	1773. 30	797.
31	1744. 32	6885. 33	503. 34	966. 40	3. 41	3. 42	21. 43	12. 44	5. 45	96.
46	1. 50	5. 51	2. 62	21. 53	10. 54	3. 55	3. 60	2. 61	2. 62	3.
64	28.									
20 A 0	37. 2	5. 3	12. 10	232. 20	138. 21	150. 22	266. 23	289. 24	231. 30	94.
31	205. 32	810. 33	59. 34	114. 42	2. 43	1. 45	11. 52	2. 53	1. 64	3.
21 A 0	114. 2	16. 3	35. 10	986. 20	419. 21	638. 22	1132. 23	1230. 24	982. 30	399.
31	873. 32	3448. 33	252. 34	484. 40	2. 41	1. 42	11. 43	6. 44	3. 45	48.
60	3. 52	11. 53	5. 64	2. 55	2. 61	1. 62	1. 64	14.		
22 A 0	144. 2	20. 3	45. 10	1250. 20	532. 21	80'. 22	1006. 23	1941. 24	1439. 30	528.
31	1155. 32	4559. 33	333. 34	640. 40	2. 41	2. 42	14. 43	8. 44	3. 45	63.
50	4. 51	1. 52	14. 63	7. 54	2. 55	2. 60	1. 61	1. 62	2. 64	19.
23 A 0	30. 2	4. 3	9. 10	258. 20	110. 21	167. 22	369. 23	433. 24	310. 30	109.
31	238. 32	941. 33	69. 34	132. 42	3. 43	2. 45	13. 52	3. 63	1. 64	4.
24 A 0	13. 2	2. 3	4. 10	116. 20	50. 21	75. 22	155. 23	175. 24	140. 30	49.
31	108. 32	425. 33	31. 34	60. 42	1. 45	6. 52	1. 64	2.		
30 A 0	23. 2	3. 3	7. 10	219. 20	84. 21	128. 22	237. 23	258. 24	206. 30	129.
31	221. 32	875. 33	69. 34	145. 42	3. 43	2. 45	14. 52	3. 53	1. 64	4.
31 A 0	64. 2	8. 3	20. 10	612. 20	236. 21	359. 22	664. 23	721. P4	575. 30	282.
31	616. 32	2433. 33	178. 34	341. 40	1. 41	1. 42	7. 43	4. 44	2. 45	34.
50	2. 52	7. 53	3. 64	1. 55	1. 62	1. 64	10.			
32 A 0	49. 2	7. 3	15. 10	474. 20	182. 21	277. 22	513. 23	557. 24	445. 30	219.
31	477. 32	2244. 33	167. 34	291. 42	6. 43	4. 44	2. 45	30. 50	2. 62	7.
63	3. 64	1. 65	1. 64	9.						
33 A 0	39. 2	6. 3	12. 10	373. 20	144. 21	219. 22	405. 23	440. 24	351. 30	187.
31	376. 32	1691. 33	134. 34	249. 42	5. 43	3. 44	1. 45	25. 50	1. 62	6.
53	3. 64	8.								

I LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS 0 1974

34 A 01	45. 21	6. 31	14. 101	427. 201	164. 211	250. 221	462. 231	502. 241	401. 301	233.	
311	429. 321	1871. 331	148. 341	378. 401	1. 411	1. 421	8. 431	5. 441	2. 451	36.	
501	2. 521	8. 531	4. 541	1. 551	1. 621	1. 641	11.				
40 A 101	21. 201	8. 211	12. 221	23. 231	24. 241	20. 301	12. 311	21. 321	86. 331	7.	
341	17. 401	409. 411	414. 421	2044. 431	1623. 441	651. 451	13001. 461	158. 471	106. 481	27.	
501	77. 511	25. 521	304. 531	143. 541	47. 551	49. 561	3. 571	4. 581	5. 641	1.	
41 A 101	19. 201	7. 211	11. 221	21. 231	22. 241	18. 301	10. 311	19. 321	83. 331	7.	
341	17. 401	421. 411	648. 421	3561. 431	1963. 441	783. 451	15630. 461	190. 471	142. 481	38.	
501	92. 511	30. 521	366. 531	172. 541	57. 551	59. 561	3. 571	5. 581	6. 641	2.	
42 A 101	88. 201	34. 211	52. 221	96. 231	104. 241	83. 301	48. 311	89. 321	387. 331	31.	
341	78. 401	1953. 411	2321. 421	16513. 431	9105. 441	3632. 451	72482. 461	880. 471	592. 481	150.	
501	427. 511	138. 521	1695. 531	800. 541	264. 551	276. 561	15. 571	24. 581	27. 641	8.	
43 A 101	49. 201	19. 211	29. 221	54. 231	58. 241	46. 301	27. 311	50. 321	229. 331	18.	
341	43. 401	1085. 411	1289. 421	9171. 431	5063. 441	2238. 451	45815. 461	565. 471	371. 481	83.	
501	274. 511	87. 521	1072. 531	506. 541	167. 551	174. 561	9. 571	15. 581	17. 641	5.	
44 A 101	20. 201	11. 211	17. 221	31. 231	34. 241	27. 301	15. 311	29. 321	134. 331	10.	
341	23. 401	586. 411	692. 421	4924. 431	3012. 441	1365. 451	25495. 461	309. 471	201. 481	45.	
501	150. 511	49. 521	596. 531	281. 541	93. 551	97. 561	5. 571	8. 581	9. 641	3.	
45 A 101	107. 201	41. 211	63. 221	116. 231	126. 241	101. 301	57. 311	108. 321	496. 331	38.	
341	93. 401	2314. 411	2733. 421	19447. 431	12203. 441	5045. 451	111482. 461	1353. 471	878. 481	176.	
501	657. 511	212. 521	2608. 531	1230. 541	406. 551	423. 561	23. 571	36. 581	41. 621	1.	
641	12.										
46 A 101	15. 201	6. 211	9. 221	16. 231	17. 241	14. 301	8. 311	15. 321	68. 331	5.	
341	13. 401	316. 411	373. 421	2655. 431	1691. 441	689. 451	16219. 461	231. 471	143. 481	24.	
501	112. 511	35. 521	430. 531	203. 541	67. 551	70. 561	4. 571	6. 581	7. 641	2.	
47 A 101	9. 201	4. 211	5. 221	10. 231	11. 241	9. 301	5. 311	9. 321	42. 331	3.	
341	8. 401	204. 411	270. 421	1726. 431	1074. 441	432. 451	9542. 461	138. 471	144. 481	16.	
501	67. 511	21. 521	262. 531	123. 541	41. 551	43. 561	2. 571	5. 581	6. 641	2.	
48 A 321	2. 401	9. 411	13. 421	78. 431	43. 441	17. 451	344. 461	4. 471	3. 481	8.	
501	2. 521	8. 531	4. 541	1. 551	1.						
50 A 01	10. 21	1. 31	3. 101	33. 201	13. 211	20. 221	36. 231	39. 241	31. 301	18.	
311	24. 321	155. 331	12. 341	29. 401	149. 411	176. 421	1255. 431	798. 441	326. 451	7196.	
461	109. 471	67. 481	11. 501	20855. 511	6539. 521	80343. 531	37901. 541	12502. 551	13046. 561	703.	
571	1153. 581	1318. 601	7. 611	9. 621	12. 641	117. 651	3. 701	1. 721	3. 741	1.	
801	1. 811	8. 821	9. 841	3. 851	9. 921	4. 941	39. 951	3. 981	4.		
51 A 01	6. 31	8. 101	19. 201	7. 211	11. 221	20. 231	22. 241	17. 301	10. 311	19.	
321	88. 331	7. 341	16. 401	83. 411	98. 421	698. 431	438. 441	181. 451	4003. 461	69.	
471	38. 481	6. 501	11264. 511	4894. 521	58714. 531	27698. 541	9137. 551	9534. 561	513. 571	779.	
581	887. 601	5. 611	8. 621	8. 641	79. 651	2. 721	2. 811	6. 821	6. 841	8.	
851	8. 921	3.									

I LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS 0 1976

62 A 0	4. 3	1. 10	12. 20	4. 21	7. 22	13. 23	14. 24	11. 30	6. 31	18.
32	53. 33	4. 34	10. 40	52. 41	61. 42	434. 43	272. 44	113. 45	2487. 46	38.
47	23. 48	4. 50	6999. 51	2970. 52	39263. 53	18522. 54	6110. 55	6376. 56	343. 57	406.
58	665. 60	3. 61	4. 62	5. 64	50. 65	1. 72	1. 81	4. 82	4. 84	1.
85	4. 92	2. 94	17. 95	1. 98	2.					
63 A 0	6. 3	2. 10	20. 20	8. 21	12. 22	22. 23	24. 24	19. 30	11. 31	20.
32	93. 33	7. 34	17. 40	98. 41	186. 42	756. 43	475. 44	196. 45	4335. 46	64.
47	40. 48	7. 50	12200. 51	5176. 52	68436. 53	34869. 54	11342. 55	11836. 56	631. 57	864.
58	884. 60	6. 61	7. 62	9. 64	88. 65	2. 72	2. 81	6. 82	7. 84	8.
85	7. 92	3. 94	29. 95	8. 98	3.					
64 A 0	5. 3	1. 10	15. 20	6. 21	9. 22	16. 23	18. 24	14. 30	8. 31	15.
32	70. 33	5. 34	13. 40	67. 41	80. 42	567. 43	356. 44	147. 45	3248. 46	48.
47	30. 48	5. 50	9140. 51	3878. 52	51273. 53	25761. 54	9448. 55	9859. 56	505. 57	648.
58	738. 60	4. 61	5. 62	7. 64	66. 65	2. 72	2. 81	5. 82	5. 84	1.
85	5. 92	2. 94	22. 95	2. 98	2.					
65 A 0	2. 10	7. 20	3. 21	4. 22	8. 23	9. 24	7. 30	4. 31	7. 32	34.
33	3. 34	6. 40	33. 41	30. 42	277. 43	174. 44	72. 45	1589. 46	23. 47	15.
48	3. 50	4471. 51	1897. 52	25078. 53	12600. 54	4621. 55	5925. 56	247. 57	317. 58	361.
60	2. 61	3. 62	3. 64	32. 81	2. 82	3. 85	2. 92	1. 94	11. 98	1.
66 A 0	9. 2	1. 3	3. 10	30. 20	12. 21	18. 22	32. 23	35. 24	28. 30	16.
31	30. 32	138. 33	11. 34	26. 40	134. 41	158. 42	1124. 43	705. 44	292. 45	6445.
46	84. 47	60. 48	10. 50	18136. 51	7604. 52	101734. 53	50636. 54	17836. 55	18612. 56	1017.
57	1293. 58	1473. 60	8. 61	10. 62	13. 64	131. 65	3. 70	1. 72	3. 74	1.
80	1. 81	9. 82	10. 84	3. 85	10. 92	5. 94	44. 95	3. 98	5.	
67 A 0	1. 10	4. 20	2. 21	2. 22	5. 23	5. 24	4. 30	2. 31	4. 32	19.
33	2. 34	4. 40	19. 41	22. 42	158. 43	101. 44	41. 45	807. 46	14. 47	11.
48	1. 50	2630. 51	1032. 52	12988. 53	6127. 54	2023. 55	2111. 56	114. 57	259. 58	294.
60	2. 61	2. 62	3. 64	26. 81	2. 82	2. 85	2. 94	9.		
68 A 10	1. 22	2. 23	2. 24	1. 31	1. 32	6. 34	1. 40	6. 41	8. 42	62.
43	33. 44	14. 45	301. 46	5. 47	4. 50	872. 51	342. 52	4306. 53	2031. 54	670.
55	700. 56	38. 57	86. 58	264. 60	1. 61	2. 62	2. 64	23. 81	2. 82	2.
85	2. 94	8.								
69 A 10	24. 20	9. 21	14. 22	26. 23	28. 24	22. 30	13. 31	24. 32	110. 33	8.
34	29. 40	11. 41	14. 42	91. 43	58. 44	24. 45	519. 46	8. 47	7. 50	438.
51	172. 52	2160. 53	1022. 54	337. 55	352. 56	19. 57	43. 58	133. 60	1290. 61	1684.
62	1999. 63	74. 64	19750. 65	475. 66	113. 67	54. 72	1. 80	11. 81	86. 82	92.
84	26. 85	88. 86	3. 90	16. 94	140. 95	10. 96	2. 98	17.		
61 A 10	26. 20	10. 21	15. 22	28. 23	31. 24	25. 30	14. 31	26. 32	121. 33	9.
34	23. 40	12. 41	16. 42	100. 43	64. 44	26. 45	574. 46	9. 47	8. 50	485.
51	190. 52	2395. 53	1130. 54	373. 55	388. 56	21. 57	48. 58	147. 60	1395. 61	2017.
62	2388. 63	89. 64	22418. 65	530. 66	135. 67	65. 72	1. 80	14. 81	104. 82	118.
84	31. 85	107. 86	3. 90	19. 94	181. 95	12. 96	3. 98	20.		

I LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS 8 1974

62 A 10	43. 20	17. 21	25. 22	47. 23	51. 24	41. 30	23. 31	44. 32	201. 33	16.
34	38. 40	20. 41	26. 42	166. 43	106. 44	43. 45	953. 46	14. 47	14. 48	2.
50	894. 51	316. 52	3973. 53	1874. 54	619. 55	646. 56	35. 57	79. 58	236. 60	2208.
61	3110. 62	4787. 63	155. 64	37208. 65	895. 66	254. 67	124. 72	2. 74	1. 89	27.
81	204. 82	221. 84	62. 85	210. 86	7. 90	1. 92	38. 93	2. 94	357. 95	84.
98	5. 97	1. 98	40.							
63 A 10	32. 20	12. 21	18. 22	34. 23	37. 24	30. 30	17. 31	32. 32	146. 33	11.
34	27. 40	14. 41	19. 42	121. 43	77. 44	31. 45	692. 46	10. 47	10. 48	1.
50	584. 51	229. 52	2886. 53	1361. 54	449. 55	469. 56	25. 57	57. 58	172. 60	1605.
61	2259. 62	3038. 63	113. 64	27028. 65	650. 66	171. 67	82. 72	2. 80	17. 81	130.
82	148. 84	39. 85	134. 86	4. 92	24. 93	1. 94	226. 95	15. 96	3. 98	20.
64 A 32	4. 42	3. 43	2. 45	17. 50	14. 51	6. 52	70. 53	33. 54	11. 55	11.
57	1. 58	4. 60	41. 61	52. 62	67. 63	2. 64	659. 65	16. 66	4. 67	2.
81	3. 82	3. 85	3. 94	5.						
65 A 10	27. 20	10. 21	16. 22	29. 23	31. 24	25. 30	14. 31	27. 32	123. 33	10.
34	23. 40	12. 41	16. 42	102. 43	65. 44	26. 45	582. 46	9. 47	8. 50	492.
51	193. 52	2428. 53	1145. 54	378. 55	395. 56	21. 57	48. 58	144. 60	1401. 61	1806.
62	2301. 63	85. 64	22738. 65	567. 66	130. 67	63. 72	1. 89	13. 81	99. 82	106.
84	30. 85	101. 86	3. 92	18. 94	172. 95	18. 96	8. 98	19.		
66 A 10	28. 20	11. 21	17. 22	31. 23	33. 24	27. 30	15. 31	29. 32	132. 33	10.
34	25. 40	13. 41	17. 42	109. 43	69. 44	28. 45	623. 46	9. 47	9. 48	1.
50	526. 51	207. 52	2600. 53	1226. 54	405. 55	422. 56	23. 57	52. 58	156. 60	1500.
61	2035. 62	2954. 63	101. 64	24348. 65	586. 66	195. 67	94. 72	2. 80	17. 81	131.
82	146. 84	42. 85	144. 86	5. 92	25. 93	1. 94	236. 95	16. 96	4. 98	20.
67 A 23	1. 32	4. 42	3. 43	2. 45	20. 50	17. 51	7. 52	82. 53	39. 54	13.
55	13. 57	2. 58	5. 60	47. 61	64. 62	95. 63	3. 64	768. 65	19. 66	6.
67	6. 81	5. 82	6. 84	2. 85	6. 92	1. 94	18. 98	1.		
70 A 0	6. 3	2. 10	11. 20	4. 21	6. 22	12. 23	13. 24	10. 30	6. 31	11.
32	51. 33	4. 34	10. 40	2. 41	3. 42	19. 43	12. 44	5. 45	111. 46	2.
47	2. 50	1735. 51	681. 52	8568. 53	4042. 54	1334. 55	1392. 56	75. 57	171. 58	509.
60	596. 61	820. 62	1242. 63	40. 64	9676. 65	233. 66	69. 67	38. 70	5246. 71	2427.
72	13644. 73	1587. 74	6361. 80	355. 81	2693. 82	2905. 83	8. 84	812. 85	2772. 86	89.
92	29. 93	1. 94	272. 95	19. 96	4. 98	31.				
71 A 0	8. 2	1. 3	3. 10	15. 20	6. 21	9. 22	17. 23	18. 24	14. 30	8.
31	15. 32	71. 33	6. 34	13. 40	3. 41	4. 42	27. 43	17. 44	7. 45	153.
46	2. 47	2. 50	2399. 51	941. 52	11850. 53	5590. 54	1845. 55	1926. 56	104. 57	236.
58	704. 60	824. 61	1134. 62	1717. 63	56. 64	13383. 65	322. 66	95. 67	53. 70	7256.
71	3651. 72	20077. 73	2106. 74	9172. 80	534. 81	4051. 82	4370. 83	12. 84	1104. 85	4070.
86	132. 90	1. 92	44. 93	2. 94	410. 95	28. 96	6. 97	1. 98	45.	
72 A 0	5. 3	1. 10	8. 20	3. 21	5. 22	9. 23	10. 24	8. 30	4. 31	8.
32	30. 33	3. 34	7. 40	8. 41	2. 42	14. 43	9. 44	4. 45	82. 46	1.
47	1. 50	1279. 51	502. 52	6315. 53	2979. 54	983. 55	1026. 56	56. 57	126. 58	376.
60	439. 61	604. 62	915. 63	30. 64	7132. 65	172. 66	55. 67	36. 70	3866. 71	1903.
72	13708. 73	1265. 74	6158. 80	302. 81	2287. 82	2724. 83	8. 84	786. 85	2740. 86	88.
92	87. 93	1. 94	265. 95	17. 96	4. 98	30.				

I LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS $ 1934

73 A 01	6. 3%	2. 10%	11. 20%	4. 21%	6. 22%	12. 23%	13. 24%	10. 30%	6. 31%	11.
32%	51. 33%	4. 34%	9. 40%	2. 41%	3. 42%	19. 43%	12. 44%	5. 45%	110. 46%	2.
47%	8. 50%	1721. 51%	676. 52%	8540. 53%	4010. 54%	1324. 55%	1381. 56%	75. 57%	169. 58%	505.
60%	591. 61%	813. 62%	1232. 63%	40. 64%	9600. 65%	231. 66%	76. 67%	42. 70%	4602. 71%	2129.
72%	12937. 73%	1749. 74%	6037. 80%	311. 81%	2362. 82%	2620. 83%	8. 84%	746. 85%	2585. 86%	83.
92%	26. 83%	1. 84%	246. 95%	17. 96%	4. 98%	29.				
74 A 01	7. 2%	1. 3%	2. 10%	13. 20%	5. 21%	8. 22%	14. 23%	15. 24%	12. 30%	7.
31%	13. 32%	60. 33%	5. 34%	11. 40%	3. 41%	4. 42%	23. 43%	14. 44%	6. 45%	130.
46%	2. 47%	2. 50%	2032. 51%	797. 52%	10036. 53%	4734. 54%	1563. 55%	1631. 56%	88. 57%	200.
58%	507. 60%	698. 61%	969. 62%	1455. 63%	47. 64%	11334. 65%	273. 66%	87. 67%	63. 70%	6130.
71%	2961. 72%	20972. 73%	2010. 74%	10932. 80%	461. 81%	3499. 82%	4167. 83%	13. 84%	1213. 85%	4330.
86%	140. 90%	1. 92%	42. 93%	2. 94%	301. 95%	27. 96%	6. 97%	1. 98%	48.	
75 A 01	2. 10%	3. 20%	1. 21%	2. 22%	3. 23%	4. 24%	3. 30%	2. 31%	3. 32%	14.
33%	1. 34%	3. 42%	5. 43%	3. 44%	1. 45%	30. 50%	467. 51%	183. 52%	2307. 53%	1088.
54%	359. 55%	375. 66%	20. 67%	46. 68%	137. 60%	161. 61%	221. 62%	334. 63%	11. 64%	2606.
65%	63. 66%	20. 67%	18. 70%	1411. 71%	681. 72%	4821. 73%	462. 74%	2513. 80%	186. 81%	804.
82%	950. 83%	3. 84%	270. 85%	996. 86%	32. 92%	10. 94%	90. 95%	6. 96%	1. 98%	11.
80 A 01	9. 2%	1. 3%	3. 32%	2. 40%	7. 41%	10. 42%	62. 43%	39. 44%	16. 45%	354.
46%	5. 47%	5. 50%	588. 51%	231. 52%	2911. 53%	1373. 54%	453. 55%	473. 56%	26. 57%	58.
58%	173. 60%	23. 61%	32. 62%	48. 63%	2. 64%	376. 65%	9. 66%	3. 67%	2. 70%	185.
71%	93. 72%	653. 73%	56. 74%	248. 80%	2716. 81%	20599. 82%	22222. 83%	56. 84%	5862. 85%	18444.
86%	595. 90%	2. 92%	77. 93%	4. 94%	718. 95%	49. 96%	10. 97%	2. 98%	77.	
81 A 01	13. 2%	2. 3%	4. 32%	3. 40%	11. 41%	14. 42%	91. 43%	58. 44%	24. 45%	524.
46%	8. 47%	7. 50%	872. 51%	342. 52%	4306. 53%	2031. 54%	671. 55%	700. 56%	38. 57%	86.
58%	256. 60%	34. 61%	47. 62%	71. 63%	2. 64%	557. 65%	13. 66%	4. 67%	2. 70%	273.
71%	137. 72%	818. 73%	83. 74%	368. 80%	4019. 81%	37658. 82%	38482. 83%	97. 84%	9962. 85%	30737.
86%	991. 90%	4. 92%	133. 93%	7. 94%	1272. 95%	87. 96%	17. 97%	3. 98%	134.	
82 A 01	12. 2%	2. 3%	4. 32%	2. 40%	10. 41%	13. 42%	83. 43%	53. 44%	21. 45%	475.
46%	7. 47%	7. 50%	790. 51%	310. 52%	3900. 53%	1840. 54%	607. 55%	634. 56%	34. 57%	78.
58%	232. 60%	31. 61%	43. 62%	65. 63%	2. 64%	504. 65%	12. 66%	4. 67%	2. 70%	247.
71%	124. 72%	818. 73%	77. 74%	367. 80%	3640. 81%	32308. 82%	41290. 83%	104. 84%	10689. 85%	32980.
86%	1064. 90%	3. 92%	143. 93%	7. 94%	1334. 95%	91. 96%	19. 97%	4. 98%	144.	
83 A 41%	1. 42%	7. 43%	4. 44%	2. 45%	38. 50%	64. 51%	25. 52%	314. 53%	148. 54%	49.
55%	51. 66%	3. 67%	6. 68%	10. 69%	2. 61%	3. 62%	5. 64%	41. 70%	20. 71%	16.
72%	69. 73%	8. 74%	32. 80%	257. 81%	2280. 82%	2913. 83%	13. 84%	867. 85%	3206. 86%	120.
92%	13. 94%	138. 95%	9. 96%	2. 98%	17.					
84 A 01	12. 2%	2. 3%	4. 32%	2. 40%	10. 41%	14. 42%	86. 43%	55. 44%	22. 45%	493.
46%	7. 47%	7. 50%	820. 51%	322. 52%	4051. 53%	1911. 54%	631. 55%	658. 56%	36. 57%	81.
58%	241. 60%	33. 61%	44. 62%	67. 63%	2. 64%	524. 65%	13. 66%	4. 67%	3. 70%	257.
71%	128. 72%	878. 73%	81. 74%	398. 80%	3570. 81%	31097. 82%	39742. 83%	115. 84%	12256. 85%	37815.
86%	1220. 90%	3. 92%	138. 93%	7. 94%	1284. 95%	88. 96%	19. 97%	4. 98%	152.	
85 A 01	13. 2%	8. 3%	4. 32%	3. 40%	11. 41%	14. 42%	90. 43%	57. 44%	23. 45%	514.
46%	8. 47%	7. 50%	855. 51%	336. 52%	4225. 53%	1993. 54%	658. 55%	687. 56%	37. 57%	84.
58%	251. 60%	34. 61%	46. 62%	70. 63%	2. 64%	546. 65%	13. 66%	4. 67%	3. 70%	868.
71%	132. 72%	935. 73%	88. 74%	434. 80%	3430. 81%	29304. 82%	37451. 83%	130. 84%	11540. 85%	43146.
86%	1398. 90%	3. 92%	130. 93%	7. 94%	1319. 95%	90. 96%	81. 97%	6. 98%	165.	

1 LIVE ANIMALS.

MATRICE INTERZONALE MILLIERS 8 1974

88 A 01	2. 40%	2. 41%	3. 42%	17. 43%	11. 44%	4. 45%	98. 46%	1. 47%	1. 50%	163.
51%	64. 52%	807. 53%	381. 54%	126. 55%	131. 56%	7. 57%	16. 58%	48. 60%	6. 61%	9.
62%	13. 64%	104. 65%	3. 70%	61. 71%	25. 72%	170. 73%	16. 74%	83. 80%	655. 81%	5607.
82%	7153. 83%	31. 84%	2206. 85%	8241. 86%	471. 92%	30. 93%	2. 94%	317. 95%	22. 96%	6.
97%	2. 98%	48.								
87 A 01	8. 81	1. 31	3. 32%	2. 40%	7. 41%	9. 42%	56. 43%	36. 44%	15. 45%	321.
46%	6. 47%	5. 50%	534. 51%	210. 52%	2640. 53%	1245. 54%	411. 55%	429. 56%	23. 57%	53.
58%	157. 60%	21. 61%	20. 62%	44. 63%	1. 64%	341. 65%	8. 66%	3. 67%	2. 70%	167.
71%	82. 72%	503. 73%	55. 74%	286. 80%	1995. 81%	16064. 82%	20099. 83%	68. 84%	6173. 85%	22498.
86%	741. 90%	2. 92%	70. 93%	4. 94%	688. 95%	47. 96%	11. 97%	3. 98%	86.	
90 A 50%	38. 51%	15. 52%	187. 53%	88. 54%	29. 55%	30. 56%	2. 57%	4. 58%	11. 80%	13.
81%	121. 82%	120. 84%	33. 85%	103. 86%	4. 90%	8. 92%	273. 93%	13. 94%	2695. 95%	185.
96%	32. 97%	6. 98%	248.							
91 A 50%	38. 51%	15. 52%	190. 53%	89. 54%	30. 55%	31. 56%	2. 57%	4. 58%	11. 80%	13.
81%	123. 82%	131. 84%	34. 85%	104. 86%	4. 90%	8. 92%	361. 93%	16. 94%	3560. 95%	244.
96%	34. 97%	6. 98%	261.							
92 A 50%	77. 51%	30. 52%	383. 53%	180. 54%	60. 55%	62. 56%	3. 57%	8. 58%	23. 80%	27.
81%	238. 82%	301. 84%	78. 85%	241. 86%	9. 90%	15. 92%	1038. 93%	46. 94%	9357. 95%	641.
96%	96. 97%	16. 98%	744.							
93 A 50%	120. 51%	47. 52%	590. 53%	278. 54%	92. 55%	98. 56%	5. 57%	12. 58%	35. 80%	
81%	364. 82%	465. 83%	2. 84%	120. 85%	405. 86%	16. 90%	23. 92%	1445. 93%	79. 94%	15078.
95%	1032. 96%	165. 97%	27. 98%	1284.						
94 A 50%	164. 51%	64. 52%	810. 53%	382. 54%	126. 55%	132. 56%	7. 57%	16. 58%	48. 64%	1.
80%	56. 81%	511. 82%	639. 83%	2. 84%	165. 85%	550. 86%	23. 90%	34. 92%	2124. 93%	108.
94%	33026. 95%	2323. 96%	255. 97%	42. 98%	1983.					
95 A 50%	25. 51%	10. 52%	124. 53%	59. 54%	19. 55%	20. 56%	1. 57%	2. 58%	7. 80%	9.
81%	78. 82%	98. 84%	25. 85%	85. 86%	3. 90%	6. 92%	326. 93%	17. 94%	5207. 95%	433.
96%	30. 97%	6. 98%	304.							
96 A 50%	139. 51%	64. 52%	686. 53%	323. 54%	107. 55%	111. 56%	6. 57%	14. 58%	41. 80%	46.
81%	404. 82%	517. 83%	2. 84%	146. 85%	621. 86%	24. 90%	24. 92%	1267. 93%	69. 94%	14867.
95%	1010. 96%	276. 97%	45. 98%	2144.						
97 A 50%	46. 51%	18. 52%	228. 53%	107. 54%	35. 55%	37. 56%	2. 57%	5. 58%	13. 80%	14.
81%	117. 82%	149. 84%	46. 85%	178. 86%	10. 90%	8. 92%	308. 93%	17. 94%	3610. 95%	847.
96%	67. 97%	18. 98%	521.							
98 A 50%	3. 51%	1. 52%	15. 53%	7. 54%	2. 55%	2. 81%	9. 82%	11. 84%	3. 85%	11.
82%	87. 83%	1. 94%	315. 96%	22. 96%	6. 98%	114.				

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSSON, A. (1975), "A closed non-linear growth model for international and inter-regional trade and location", Regional Science and Urban Economics, vol. 5, pp. 219-228.

ANDERSSON, A. et H. PERSSON (1979), "Integration of transportation and location analysis; a general equilibrium approach", Papers of the Regional Science Association, vol. 42, pp. 39-55.

ANDERSSON, A. et A. KARLQVIST (1979), "An equilibrium model for integrated regional development" in Behavioural Travel Modeling (D.A. Henscher et P.R. Stopher, ed.), Croom Helm, London.

BACHARACH, M. (1970), Biproportional Matrices and Input-Output Change, Cambridge University Press, London.

BALESTRA, P. et M. NERLOVE (1966), "Pooling cross-section and time-series data in the estimation of a dynamic model: the demand for natural gas", Econometrica, vol. 34, pp. 585-612.

BARANOV, E.F. et I.S. MATLIN (1981), "System of models coordinating decisions for sectoral and regional development", communication présentée au colloque de l'International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

BATES, J. et M. BACHARACH (1963), "Input-output relationship 1954-1966", in A Programme for Growth (R. Stone, ed.), Chapman and Hall, London.

BATTEN, David F. (1983), Spatial Analysis of Interacting Economies, Kluwen-Nijhoff, Boston.

BATTEN, David F. (1982), "The interregional linkages between national and regional input-output models", International Regional Science Review, vol. 7, pp. 53-67.

BATTY, M. (1970), "Some problems of calibrating the Lowry model", Environment and Planning, vol. 2, pp. 95-114.

BAUMOL, W.J. et H.D. VINOD (1970), "An inventory theoretic model of freight transport demand", Management Science, vol. 16, no 7, pp. 413-421.

BECKMAN, M.J. et T.F. GOLOB (1971), "A critique of entropy and gravity in travel forecasting", Proceedings of the 5th International Symposium of American Geographers, vol. 3, pp. 109-117.

BLACK, J.A. et P.J. SALTER (1975), "A statistical evaluation of the accuracy of a family of gravity models", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 59, pp. 1-20.

BOLTON, R. (1980), "Multiregional models: introduction to a symposium", Journal of Regional Science, vol. 20, pp. 131-142.

BOLTON, R. (1981), "The development of multiregional modeling in North America", communication présentée au colloque de l'International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

BOLTZMANN, L. (1875), "Ueber das Warmegleichgewicht von Gasen, auf welche aussere Krafte wirken", Sitzungs Berichte der Oesterr. Akad. des Wissenchaften, Mathem.-Naturwiss, vol. 72, no 2, pp. 427-457.

BREGMAN, L. (1967), "The relaxation method of finding the common point of convex sets and its application to the solution of problems on convex programming", USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics, vol. 7, pp. 200-217.

BRODERSOHN, M.S. (1965), "A multiregional input-output model of the Argentine economy", Instituto Torcuato de Tella, Centro de Investigaciones Economicas, Buenos-Aires.

CHANG-I Hua et F. PORELL (1979), " A critical review of the development of the gravity model", International Regional Science Review, vol. 4, pp. 97-126.

CHENERY, H. (1956), "Interregional and international input-output analysis", in The Structural Interdependence of the Economy (T. Barna, ed.), Wiley, New York, pp. 341-356.

CHISHOLM, M. et P. O'SULLIVAN (1973). Freight Flows and Spatial Aspects of the British Economy, Cambridge University Press, London.

CHOUKROUN, J.M. (1975), "A general framework for the development of gravity-type trip distribution models", Regional Science and Urban Economics, vol. 5, pp. 177-202.

COMMISSION CANADIENNE DES TRANSPORTS (1976), Report on Modelling the Demand for Freight Transport, rapport no ESAB-76-16-1, Ottawa.

COMMISSION CANADIENNE DES TRANSPORTS (1978), Forecasting the demand for freight transport in Canada: a Time Series Approach, rapport no 10-78-21, Ottawa.

COURBIS, Raymond (1980), "Multiregional modeling and the interaction between regional and national development: a general theoretical framework", in Modeling the Multiregional Economic System (F.G. Adams et N.J. Glickman, ed.), Lexington Books, Lexington, (Mass.) pp. 107-130.

COURVILLE, L. et al.(1979), La sensibilité des industries au commerce interrégional: le cas du Québec, de l'Ontario et du reste du Canada, Gouvernement du Québec, Ministère des Affaires intergouvernementales.

CURRY, L. (1972), "A spatial analysis of gravity flows", Regional Studies, vol. 6, pp. 131-147.

DALE, P.A. et al. (1975), "Un modèle intersectoriel de l'économie canadienne avec contrainte sur l'offre: une approche utilisant la programmation linéaire", L'Actualité économique, vol. 51, pp. 96-111.

D'AMOURS, A., F. CHABOT-PLANTE et G. SIMARD (1975), "Candide-R", L'Actualité économique, vol. 51, pp. 603-625.

DARROCH, J.N. et D. RATCLIFF (1972), "Generalized iterative scaling for log-linear models", Annals of Mathematical Statistics, vol.43, pp. 1470-1480.

En collaboration (1974), L'Atlas National du Canada, 4ième édition (révisée), Macmillan (avec le concours du Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources et d'Information Canada), Ottawa.

ENERGIE, MINES ET RESSOURCES CANADA (1977), Canadian Minerals Yearbook, 1974, rapport no 24, Ministère des approvisionnements et services, Ottawa.

ENKE, S. (1951), "Equilibrium among spatially separated markets: solution by electric analogue", Econometrica, vol. 19, pp. 40-47.

EVANS, A.W. (1971), "The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions", Transportation Research, vol. 5, pp. 15-38.

EVANS, M.K. et L.R. KLEIN (1968), "The Wharton econometric forecasting model", Studies in Quantitative Economics no 2, Wharton School of Finance and Commerce, Philadelphie.

EVANS, S. (1973), "A relationship between the gravity model for trip distribution and the transportation problem of linear programming", Transportation Research, vol. 7, pp. 39-61.

FLORIAN, M. et M. LOS (1981), "A new look at spatial price equilibrium models", publication no 196, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

FOX, Karl A. (1953), "A spatial equilibrium model of the livestock-feed economy in the United States", Econometrica, vol. 21, pp. 547-566.

FRIEDLAENDER, A.F. et R.H. SPADY (1977), "Derived demand functions for freight transportation, Center for Transportation Studies, M.I.T., Cambridge (Mass.).

GASTON, C. (1979), Canadian Interregional Input-Output Tables - Sources and Methodology, Statistiques Canada, Division de l'analyse structurelle, Ottawa.

GLEJSER, G. et al. (1973), "The first experiments with an econometric regional model of the belgian economy", Regional Science and Urban Economics, vol. 3, pp. 301-314.

GORDON, I.R. (1973), "Transport cost minimisation and the gravity hypothesis: a comment", Regional and Urban Economics, vol. 4, pp. 1-9.

GORDON, I.R. (1976), "Gravity demand functions, accessibility and regional trade", Regional Studies, vol. 10, pp. 25-37.

GORDON, I.R. (1977), "Regional interdependence in the U.K. economy", in Structure, System and Economic Policy (W. Leontief, ed.), Cambridge University Press, London.

GORDON, R., R. BENDER et G.T. HERMAN (1970), "Algebraic reconstruction techniques (ART) for three-dimensional electron microscopy and X-ray photography", Journal of Theoretical Biology, vol. 29, pp. 471-481.

GRAHAM, L.J. (1975), C.I.G.G.T. Transportation Data Base Description and Usage, rapport no 75-12, Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's University, Kingston (Ont.).

GRANBERG, A. (1981), "Regional economic interactions", in Development Modeling: Theory and Practice (M. Albegov et al., ed.), North Holland, Amsterdam.

HALL, B.H., R.E. HALL et J.A. BRESLAW (1983), Time Series Processor, Version 4.0, Users' Manual, Concordia University.

HAMELIN, P., M. LOS et S. NGUYEN (1981), "Infrastructure d'un réseau de transport multimodal pour le Canada", publication no 209, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

HARRIS, C. (1980), "New developments and extensions of the multiregional multi-industry forecasting model", Journal of Regional Science, vol. 20, no 2, pp. 159-172.

HARTWICK, J.M. (1969), Regional Analysis by Means of Interregional Input-Output Models with Applications to Eastern Canada, Thèse de doctorat (non-publiée), John Hopkins University, Baltimore.

HARTWICK, J.M. (1971), "Notes on the Isard and Chenery-Moses interregional input-output models", Journal of Regional Science, vol. 11, pp. 73-86.

HATHAWAY, P.J. (1975), "Trip distribution and disaggregation", Environment and Planning A, vol. 7, pp. 71-97.

HEADY, E.O. et M.D. SKOLD (1966), "Analysis to specify the regional distribution of farm products", in Research and Education for Regional and Area Development, Iowa University Press, pp. 175-192.

HEAVER, T.D. et T.H. OUM (1976), "A statistical analysis of the Canadian railway rate structure", Transportation Research Forum Proceedings, 17th Annual Meeting, vol. 19, pp. 570-577.

HENDERSON, J.M. (1958), The Efficiency of the Coal Industry: an application of linear programming, Havard University Press.

HOBSON, A. (1969), "A new theorem of information theory", Journal of Statistical Physics, vol. 1, pp. 383-391.

HOBSON, A. (1971), Concepts in Statistical Mechanics, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

HOFFMAN, R.B. et J.N. KENT (1976), "Design for commodity-by-industry interregional input-output models", in Advances in Input-Output Analysis (K. Polenske et J. Skolda, ed.), Ballenger, Cambridge (Mass), pp. 251-262

HYMAN, G.M. (1969), "The calibration of trip distribution models", Environment and Planning, vol. 1, pp. 105-112.

IRELAND, C.T. et S. KULLBACK (1968), "Contingency tables with given marginals", Biometrika, vol. 55, pp. 179-188.

ISARD, W. (1951), "Interregional and regional input-output analysis: a model of a space economy", The review of Economics and Statistics, vol. 33, pp. 318-328.

JAYNES, E.T. (1957), "Information Theory and statistical mechanics", Physicals Review, vol. 106, pp. 620-630.

JENSEN, R.C. et G.R. WEST (1982), "On the nature of regional multipliers", communication à la 29ième rencontre nord-américaine de la Regional Science Association, Pittsburg.

JUDGE, G. et T. TAKAYAMA (1973), Studies in Economic Planning over Space and Time, North-Holland, Amsterdam.

KARLQVIST, A. et al. (1978), "A regional planning model and its application to south eastern Australia", Regional Science and Urban Economics, vol. 8, pp. 57-86.

KHINCHIN, A.I. (1957), Mathematical Foundations of Information Theory, Dover Publications, New York.

KRUITHOF, J. (1937), "Calculation of telephone traffic", De Ingenieur (E. Electrotechnik 3), vol. 52, pp. 15-25.

KULLBACK, S. (1959), Information Theory and Statistics, Wiley, New York.

LAKSHMANAN, T.R. (1979), "A Multiregional Policy Model of the Economy, Environmental and Energy Demand", Working Paper no NSF-79-1; Boston University.

LAMOND, B. (1980), "Balancement de matrices et optimisation d'entropie", publication no 211, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

LAND, A.H. (1957), "An application of linear programming to the transport of coking coal", Journal of the Royal Statistical Society, Series A, vol. 120, pp. 308-319.

LEONTIEF, W. (1936), "Quantitative input and output relations in the economic system of the United States", Review of Economics and Statistics, vol. 18, pp. 105-125.

LEONTIEF, W. (1953), "Interregional trade", in Studies in the Structure of the American Economy (W. Leontief, ed.), Oxford University Press, New York, pp. 93-115.

LEONTIEF, W. et A. STROUT (1963), "Multiregional input-output analysis", in Structural Interdependence and Economic Development (T. Barna, ed.), MacMillan, London, pp. 119-150.

LOS, Marc (1979), "Discrete choice modelling and disequilibrium in land use and transportation planning", publication no 137, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

LOS, Marc (1980), "A transportation-oriented multiregional economic model for Canada", publication no 178, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

LOS, Marc et Sang NGUYEN (1980), "FRETNET: A freight transportation simulation model", publication no 194, Centre de recherche sur les transports, Université de Montréal.

LUNDQVIST, L. (1981), "Applications of a dynamic multiregional input-output model of the swedish economy", Papers of the Regional Science Association, vol. 47, pp. 75-95.

MACGILL, S.M. (1977), "Theoretical properties of biproportional matrix adjustments", Environment and Planning A, vol. 9, pp. 687-701.

MACGILL, S.M. (1978), "Rectangular input-output tables, multiplier analysis and entropy maximising principles: a new methodology", Regional Science and Urban Economics, vol. 8, pp. 355-370.

MADDALA, G.S. (1977), Econometrics, McGraw-Hill, New York.

MARTELLATO, D. (1980), "Structural analysis with an updated interregional input-output model for Italy", communication présentée à la 20ième rencontre européenne de la Regional Science Association, Munich.

MATHEMATICA (1967), Studies on the Demand for Freight Transportation, 3 volumes, U.S. Department of Transportation, Washington.

MERA, K. (1971), "An evaluation of gravity and linear programming models for predicting interregional commodity flows", in Techniques of Transport Planning, vol. 1, (J.R. Meyer, ed.), Brookings Institution, Washington, pp. 297-308.

MIERNYK, W.H. (1965), The Elements of Input-Output Analysis, Randon House, New York.

MIERNYK, W.H. (1972), "Regional and interregional input-output models: a reappraisal", in Spatial, Regional and Population Economics, (M. Perlman, C. Leven et B. Chinitzs, ed.), Gordon and Breach, New York, pp. 263-292.

MIERNYK, W.H. (1976), "Comments on recent developments in regional input-output analysis", International Regional Science Review, vol, 1, pp. 47-55.

MILLER, R.E. et P. BLAIR (1982), "State-level technology in the U.S. Multiregional Input-Output Model", communication présentée à la 29ième rencontre nord-américaine de la Regional Science Association, Pittsburg.

MILNE, W.J., F.G. ADAMS et N.J. GLICKMAN (1980), "A framework for analysing regional growth and decline: a multiregional econometric model of the United States", Journal of Regional Science, vol. 20, pp. 173-189.

MINISTERE DE L'EXPANSION ECONOMIQUE REGIONALE (1976), An Interprovincial Input-Output Model, Version III, M.E.E.R., Division de l'analyse du développement économique, Ottawa.

MINISTERE DE L'EXPANSION ECONOMIQUE REGIONALE (1977), Employment and Occupational Impacts Using the Version III Interprovincial Input-Output Model, M.E.E.R., Division de l'analyse du développement économique, Ottawa.

MORRILL, R.L. et W.L. GARRISON (1960), "Projections of interregional patterns of trade in wheat and flour", Economic Geography, vol. 36, pp. 116-126.

MOSES, L.N. (1952), Regional Input-Output: a Method of Analysing Regional Interdependence, thèse de doctorat (non-publiée), Harvard University, Cambridge.

MOSES, L.N. (1955), "The stability of interregional trading patterns and input-output analysis", American Economic Review, vol. 45, pp. 803-832.

MOSES, L.N. (1960), "A general equilibrium model of production, interregional trade and location of industry", Review of Economics and Statistics, vol. 42, pp. 373-397.

MURCHLAND, J.D. (1966), "Some remarks on the gravity model of trip distribution and an equivalent maximising procedure", rapport no LSE-TNT-38, London School of Economics, London.

NATIONS-UNIES (1970), Système de comptabilité nationale, Etudes méthodologiques, séries F, no 2, Rev. 3, Nations Unies, New York.

NIEDERCORN, J.H. et B.V. BECHDOLT (1969), "An economic derivation of the gravity law of spatial interaction", Journal of Regional Science, vol. 9, pp. 273-282.

NIEDERCORN, J.H. et J.D. MOOREHEAD (1974), "The commodity flow gravity model. A Theoretical reassessment", Regional and Urban Economics, vol. 4, pp. 69-75.

NIJKAMP, P. (1975), "Reflections on gravity and entropy models", Regional Science and Urban Economics, vol. 5, pp. 203-225.

NIJKAMP, P. et P. RIETVELD (1980), "Towards a comparative study of multiregional models", rapport no 80-172, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

OHLIN, B. (1933), Interregional and International Trade, Havard University Press, Cambridge (Mass.)

OLSEN, R.J. et al. (1977), "MULTIREGION: a simulation-forecasting model of BEA area population and employment", publication ORNL/RUS-25, Oak Ridge National Laboratory.

OOSTERHAVEN, J. (1981), "On constructing a three regions input-output table for the Netherlands", communication présentée à la 7ième rencontre du Pacifique de la Regional Science Association, Queensland (Australie).

OPENSHAW, S. (1976), "An empirically derived deterrence functions for maximum performance spatial interaction models", Environment and Planning A, vol. 8, pp. 23-41.

OPENSHAW, S. (1979), "Alternative methods of estimating spatial interaction models and their performance in short-term forecasting", in Exploratory and Explanatory Statistical Analysis for Spatial Data (C. Bartels et R. Ketellapper, ed.), Martinus Nijhoff, Boston, pp. 201-225.

OPENSHAW, S. et C.J. CONNOLLY (1977), "Empirically derived deterrence functions for maximum performance spatial interaction models", Environment and Planning A, vol. 9, pp. 1067-1079.

O'SULLIVAN, P. et B. RALSTON (1974), "Forecasting intercity commodity transport in the U.S.A.", Regional Studies, vol. 8, pp. 191-195.

OUM, T.H. (1979), Demand for Freight Transportation with a Special Emphasis on Mode Choice in Canada, thèse de doctorat, The University of British Colombia, Vancouver.

PAELINCK, J.H. et P. NIJKAMP (1975), Operational Theory and Method in Regional Economics, Saxon House, Westmead (England).

PERLE, E.D. (1964), The Demand for Transportation: Regional and Commodity Studies in the United-States, University of Chicago Press, Chicago.

PESCHEL, K. (1980), "On the impact of geographic distance on the interregional patterns of production and trade", discussion paper no 15, Institut fur Regionalforschung, Université de Kiel.

PICARD, G., D. PASKIEVICI et S. NGUYEN, (1985), «Une version désagrégée du modèle de simulation des flux de marchandises TOMM", publication no 377, Centre de recherche sur les transports, Université de MOntréal.

PITFIELD, D.E. (1978), "Freight distribution model predictions compared: a test of hypothesis", Environment and Planning A. vol. 10, pp. 813-836.

POLENSKE, K. (1966), A Case Study of Transportation Models used in Multiregional Analysis, thèse de doctorat (non publiée), Harvard University, Cambridge (Mass).

POLENSKE, K. (1970), "An empirical test of interregional input-output models: estimation of 1963 japanese production", American Economic Review, vol. 60, pp. 76-82.

POLENSKE, K. (1972), "The implementation of a multiregional input-output model for the United States", in Input-Output Techniques (A. Brody et A.P. Carter, ed.), North Holland, Amsterdam.

POLENSKE, K. (1974), "Multiregional interactions between energy and transportation", in Advances in Input-Output Analysis (K. Polenske et J. Skolka, ed.), Ballinger, Cambridge (Mass.) pp. 433-460.

POLENSKE, K. (1978), "Energy analysis and the determination of multiregional prices", communication présentée à la 25ième rencontre nord-américaine de la Regional Science Association, Chicago.

QUANDT, R.E. et W.J. BAUMOL (1966), "The demand for abstract transport modes: theory and measurement", Journal of Regional Science, vol. 6, pp. 13-26.

RICHARDSON, H.W. (1972), Input-Output and Regional Economics, John Wiley and Sons, New York.

RIEFLER, R.F.(1973), "Interregional input-output: a state of the arts survey", in Studies in Economic Planning Over Space and Time (G. Judge et T. Takayama, ed.), North Holland, Amsterdam.

RIEFLER, R.F. et C.M. TIEBOUT (1970), "Interregional input-output: an empirical California-Washington model", Journal of Regional Science, vol. 10, pp. 135-152.

RIETVELD, P. (1981), "A review of multiregional economic models", communication présentée au colloque de l'International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

ROUND, J.I. (1983), "Nonsurvey techniques: a critical review of the theory and evidence", International Regional Science Review, vol. 8, pp. 189-212.

SAMUELSON, P.A. (1952), "Spatial price equilibrium and linear programming", American Economic Review, vol. 42, pp. 283-303.

SAMUELSON, R.D. et P.O. ROBERTS (1975), A Commodity Attribute Data File for Use in Freight Transportation Studies, rapport no 72-20, Center for Transportation Studies, M.I.T.

SCHUBERT, U. (1981), "The development of multiregional economic models in Western Europe", communication présentée au colloque de l'International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

SHANNON, C.E. (1948), "A mathematical theory of communication", Bell System Technical Journal, vol. 27, pp. 379-423 et pp. 623-656.

SIKDAR, P.K. et B.G. HUNTCHINSON (1981), "Empirical studies of work trip distribution models", Transportation Research Journal A, vol. 15A, pp. 233-243.

SLOSS, J. (1971), "The Demand for intercity motor freight transport: a macroeconomic analysis", The Journal of Business, vol. 44, pp. 62-68.

SMITH, P.L. (1975), "Forecasting freight transport demand: the state of the art", The Logistics and Transportation Review, vol. 10, pp. 311-326

SMITH, T.B. et C.M. LEIGH (1977), "Regional economic models", in Models of Cities and Regions: Theoretical and Empirical Developments (A. G. Wilson et al., ed.), John Wiley and Sons, New York, pp. 131-207.

SNICKARS, F. (1979), "Construction of interregional input-output tables by efficient information adding", in Exploratory and Explanatory Statistical Analysis for Spatial Data (C. Bartels et R.Kettellaper, ed.), Nijhoff, Boston, pp. 72-112.

SNICKARS, F. (1981), "Interregional and international linkages in multiregional economic models", rapport no WP-81-00, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Autriche).

SNICKARS, F. et J.W. WEIBULL (1977), "A minimum information principle: theory and pratice", Regional Science and Urban Economics, vol. 7, pp. 137-168.

STATISTIQUE CANADA (1975a), Chargements ferroviaires, catalogue no 52-001 (mensuel), Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1975b), Indice des prix à la consommation, catalogue no 62-002 (mensuel),Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1975c), Permis de bâtir: sommaire annuel 1974, catalogue no 64-203 (annuel), Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1975d), Système de comptabilité nationale. Comptes nationaux des revenus et des dépenses, catalogue no 13-001 (trimestriel), Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1976a), Industries manufacturières du Canada: niveau infraprovincial 1974, catalogue no 31-209 (annuel), Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1976 b), User's Guide to Statistics Canada Structural Economics Models, Division de l'analyse structurelle, Statistique Canada, Ottawa.

STATISTIQUE CANADA (1979), La structure par entrées-sorties de l'économie canadienne, catalogue no 15-508 F, Statistique Canada, Ottawa.

SUZUKI, N. et al. (1978), "Regional dispersion policies and their effects on industries: calculation based on interregional input-output model (version II)", Mitsubishi Research Institute, Tokyo.

TAKAYAMA, T. et G.G. JUDGE (1971), Spatial and Temporal Price and Allocation Models, North Holland, Amsterdam.

TERZIEV, M., M. BEN-AKIVA et P.O. ROBERTS (1975), "Freight demand modelling: a policy sensitive approach", rapport no 76-6, Center for Transportation Studies, M.I.T.

THEIL, H. (1967), Economics and Information Theory, North Holland, Amsterdam.

THEIL, H. (1969), "A multinominal extension of the linear logit model", International Economic Review, vol. 10, pp. 251-259.

TOBIN, J. (1958), "Estimation of relationships for limited dependent variables", Econometrica, vol. 26, pp. 24-36.

TOLMAN, R.C. (1938), The Principles of Statistical Mechanics, Oxford University Press, Oxford.

TREYZ, G. (1980), "Design of a multiregional policy analysis model", Journal of Regional Science, vol. 20, pp. 191-206.

TRUCHON, M. (1975), "Les résultats du modèle intersectoriel du Québec: les postes traditionnels de la comptabilité nationale et les multiplicateurs de revenus", L'Actualité économique, vol. 51. pp. 56-70.

VAN PEETERSSEN, A. (1979), "Procédure d'élaboration d'un tableau input-output interrégional pour le Canada", rapport de recherche no 79-07, Ecole des Hautes Etudes Commerciales, Montréal.

VERMOT-DESROCHES, B. (1979), "Testing econometric spatial interaction models using French regional data", communication présentée à la 26ième rencontre nord-américaine de la Regional Science Association, Los Angeles.

VERMOT-DESROCHES, B. et J.H. NIEDERCORN (1980), "Comparaison empirique des approches probabiliste et comportementale du modèle de gravité de flux de marchandises: le cas des produits pétroliers français", rapport de recherche, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières.

WILSON, A.G. (1967), "A statistical theory of spatial distribution models", Transportation Research, vol. 1, pp. 253-269.

WILSON, A.G. (1970a), Entropy in Urban and Regional Modeling, Pion, London.

WILSON, A.G. (1970b), "Inter-regional commodity flows: entropy maximising methods", Geographical Analysis, vol. 2, pp. 255-282.

WILSON, A.G. et M. SENIOR (1974), "Entropy maximising models, linear programming models and their duals", Journal of Regional Science, vol. 14, pp. 207-217.